



UNIVERSITÀ DI PISA

Dipartimento di Medicina Clinica e Sperimentale

Dipartimento di Patologia Chirurgica, Medica, Molecolare e dell'Area Critica

Dipartimento di Ricerca Traslazionale e delle Nuove Tecnologie in Medicina e Chirurgia

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN SCIENZE E TECNICHE DELLE ATTIVITA' MOTORIE
PREVENTIVE E ADATTATE**

**“I Neuroni Specchio come base cognitiva in alcuni disturbi dell’età
evolutiva: l’imitazione utilizzata come strumento educativo nel recupero
delle funzioni motorie e cognitive nelle patologie in generale”**

RELATORE

CHIAR.MO PROF. Alberto Franchi

CANDIDATO

DOTT. SSA Regina Malventi

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE	pag. 5
---------------------	--------

CAPITOLO 1: BASI NEUROFISIOLOGICHE DEL PROCESSO COGNITIVO

1.1	I Neuroni Specchio nella scimmia	pag. 8
1.2	I Neuroni Specchio nell'uomo	pag. 10

CAPITOLO 2: FUNZIONI DEI NEURONI SPECCHIO

2.1	Riconoscimento dell'Intenzionalità	pag. 11
2.2	Comunicazione e Linguaggio	pag. 14
2.3	Comprensione delle Emozioni	pag. 16
2.4	Imitazione e Apprendimento Motorio	pag. 18
2.5	La Simulazione Incarnata	pag. 23

CAPITOLO 3: I NEURONI SPECCHIO ALLA BASE DI ALCUNI DISTURBI DELL'ETÀ EVOLUTIVA

3.1	Neuroni Specchio e Disturbi specifici dello sviluppo motorio	pag. 25
3.2	Neuroni Specchio e Disturbo dello Spettro Autistico	pag. 29
3.3	L'Immaginazione Motoria	pag. 33

3.3.1	Training di immaginazione motoria in bambini con DCM	pag. 37
3.3.2	Il gioco simbolico nei bambini con Autismo infantile	pag. 38

CAPITOLO 4: APPLICAZIONI CLINICHE DEI NEURONI SPECCHIO IN RIFERIMENTO ALLA LETTERATURA NEI DISTURBI MOTORI E COGNITIVI IN GENERALE

4.1	Action Observation Treatment (AOT)	pag. 40
4.1.1	Intervento motorio dopo stroke	pag. 41
4.1.2	AOT e Morbo di Parkinson	pag. 43
4.1.3	Recupero motorio dopo chirurgia ortopedica	pag. 44
4.1.4	Action Observation Treatment nelle Paralisi Cerebrali Infantili	pag. 45
4.2	Mirror Therapy (MT)	pag. 48
4.2.1	MT e Phantom Limb Pain	pag. 48
4.2.2	MT e Aprassia Ideomotoria	pag. 51
4.2.3	MT e recupero dell'arto superiore del paziente con ictus	pag. 53
4.3	Realtà Virtuale (RV)	pag. 56
4.3.1	Utilizzo della RV a favore delle persone con disabilità motoria	pag. 58
4.3.2	Training virtuale per l'utilizzo di ausili per la mobilità	pag. 60
4.3.3	Realtà Virtuale e Stroke	pag. 61

4.4 Motor Imagery e Motor Observation in soggetti con condizioni neurologiche	pag.66
CONCLUSIONI	pag. 70
BIBLIOGRAFIA	pag. 71
RINGRAZIAMENTI	pag. 73

INTRODUZIONE

La scoperta dei Neuroni Specchio (NS) ha aperto nuove strade alla comprensione delle basi neurofisiologiche dell'azione, del linguaggio e delle abilità neuropsicologiche. Tale sistema, infatti, ha fornito un modello neurale alla base del quale si ottiene l'integrazione delle informazioni sensoriali e motorie e l'elaborazione di processi dapprima considerati esclusivamente di ordine superiore e attribuiti al sistema cognitivo, quali la percezione e il riconoscimento di atti altrui, l'imitazione e la comunicazione; tali processi, attraverso il sistema dei Neuroni Specchio, riconoscono nel sistema motorio il proprio substrato neurale primario.

Gli studi sperimentali condotti nell'ultimo ventennio hanno radicalmente modificato la visione del sistema motorio: con l'identificazione dei Neuroni Mirror si è dimostrato che tale sistema non svolge solo funzioni esecutive, non implica più necessariamente l'esercizio di un movimento, condotto in maniera passiva o attiva, ma può avvalersi anche di nuove modalità, ponendo le basi per una nuova interpretazione del concetto di recupero del sistema motorio.

Numerose evidenze ipotizzano che una disfunzione a livello di questi Neuroni Mirror sia la base di alcuni disturbi che si verificano in età evolutiva, in particolare della ridotta capacità di imitazione, la quale determina una incapacità nella comprensione degli stati mentali altrui nel Disturbo dello Spettro Autistico; della ridotta capacità di percezione e produzione di movimenti linguistici e gestuali; della diminuita capacità dell'individuo di rappresentarsi internamente l'atto motorio da compiere, come avviene nel Disturbo di Coordinazione Motoria.

Da ciò, si percepisce come lo sviluppo motorio, cognitivo e del linguaggio siano strettamente collegati: parallelamente all'emergenza del gesto ed al raggiungimento delle tappe motorie si accrescono le capacità linguistiche e cognitive, mentre nell'ambito della patologia frequentemente i disturbi motori si associano a quelli cognitivi e neuropsicologici.

Una delle proprietà dei Neuroni Specchio più rilevante in ambito terapeutico è l'immaginazione motoria, ovvero un processo cognitivo secondo il quale avviene un'attivazione off-line delle medesime aree cerebrali coinvolte nell'effettiva esecuzione dell'azione.

I progetti di ricerca si propongono di ampliare le conoscenze riguardanti la funzionalità del sistema dei Neuroni Mirror in pazienti di età adulta, caratterizzati da malattie neurologiche e non.

È noto da tempo che l'immaginazione motoria di una certa azione può migliorare l'esecuzione di quell'azione. Recentemente numerosi studi hanno testato l'ipotesi che il connubio fra trattamento rieducativo standard e training imitativo porta a conseguire risultati maggiori rispetto al solo trattamento classico.

Ultimamente hanno dimostrato che l'osservazione sistematica di azioni quotidiane (Action Observation Treatment) può essere utile per migliorare le prestazioni motorie in soggetti adulti con esiti di stroke ischemico in fase cronica, in pazienti con Morbo di Parkinson, nelle Paralisi Cerebrali Infantili e, nell'ambito delle malattie non neurologiche, nei pazienti che hanno subito un intervento chirurgico.

Un altro strumento promettente sembra essere la Mirror Therapy nel trattamento di condizioni patologiche dove il paziente non è più in grado di ricevere afferenze dalla parte del corpo colpita, come avviene, per esempio, nella Sindrome dell'arto fantasma (Phantom Limb Pain) e nell'arto del paziente emiparetico: osservando l'arto sano ad uno specchio posizionato lungo l'asse sagittale del corpo, il soggetto avrebbe la sensazione di vedere una motilità normale dell'arto affetto.

Le nuove tecnologie si basano anche su ambienti interattivi che coinvolgono l'utente in attività che simulano quelle del mondo reale, ed infatti, per il recupero delle abilità motorie compromesse in seguito a danno cerebrale, sono state ormai ben documentate evidenze scientifiche circa la possibilità di attivare, mediante sedute con Realtà Virtuale, le stesse aree cerebrali attivate in corso di esercizio in contesti reali.

E' stato dimostrato che il ri-apprendimento motorio può essere più efficace in un ambiente con maggiore feedback e questa tecnologia consente la creazione di impostazioni speciali in cui l'interazione uomo-computer è ottimizzata.

Ancora, nei pazienti con ictus cronico, la pratica quotidiana di compiti motori immaginati (Motor Imagery) ha indicato notevoli miglioramenti nelle prestazioni dei compiti richiesti.

La possibilità dell'intervento educativo tramite training di immaginazione motoria, apprendimento per imitazione e osservazione delle azioni sembra aprire nuove frontiere nel campo della rieducazione di questi disturbi, sia dell'età evolutiva che adulta.

CAPITOLO 1

BASI NEUROFISIOLOGICHE DEL PROCESSO COGNITIVO

Gli esperimenti avviati agli inizi degli anni '80 dal gruppo di ricercatori dell'Istituto di Fisiologia di Parma diretto da Giacomo Rizzolatti evidenziarono l'esistenza nella corteccia premotoria della scimmia di neuroni che vengono attivati durante l'esecuzione non di singoli movimenti, ma di azioni, cioè di atti motori finalizzati.

È risultato poi che una parte dei neuroni premotori dell'area F5 viene attivata anche solo da stimoli visivi, ed in particolare dall'osservazione di oggetti che per forma, grandezza, orientamento corrispondono al tipo specifico di azione codificato da quegli stessi neuroni, come afferrare con la mano, con la mano e con la bocca, tenere etc.. in contrasto con la concezione classica del cervello diviso in regioni separate, si affermava l'idea che il sistema motorio non dovesse avere un ruolo di puro esecutore passivo rispetto ad un flusso di informazioni unidirezionale dalla sensazione (aree sensoriali primarie) alla percezione (aree associative) fino ai processi decisionali localizzati nella corteccia prefrontale.

I dati sperimentali dimostrano che la corteccia motoria e premotoria del lobo frontale e quella parieto-temporale presentano un mosaico di aree distinte sul piano anatomo-funzionale ma fortemente connesse tra loro, che formano circuiti cortico-corticali destinati a integrare le informazioni sensoriali e quelle motorie relative a determinati effettori (Rizzolatti, Sinigaglia, 2006, pag 20-21).

Uno di questi circuiti, F5-AIP (area intraparietale anteriore), è coinvolto nelle trasformazioni visuo-motorie necessarie per afferrare gli oggetti.

Dai neuroni dell'area AIP l'informazione visiva viene trasmessa ai neuroni di F5 (deputati ai movimenti della mano e della bocca) che codificano gli atti motori con essa congruenti.

Un altro circuito F4-VIP (area intraparietale ventrale), che collega l'area della corteccia frontale agranulare e del lobo parietale posteriore, ha la funzione di localizzare gli oggetti entro lo spazio peripersonale.

Anche i neuroni di F4 (che presiedono ai movimenti di collo, bocca, braccio) scaricano sia durante gli atti motori, sia in risposta a semplici stimoli sensoriali, di tipo tattile, visivo, o addirittura uditivo.

Il sistema dei neuroni specchio è situato anatomicamente tra questi due circuiti fronto-parieto-temporali che trasformano gli input sensoriali in azioni, combinandosi con i programmi motori

appropriati.

I neuroni di F5 e di AIP codificano gli oggetti come “poli di atti virtuali”, mentre il circuito F4-VIP definisce lo spazio come un “sistema di relazioni” che trova la propria misura nelle varie parti del corpo.

Queste “rappresentazioni motorie” provvedono sia al controllo dell’azione che alla codifica degli stimoli sensoriali in base all’atto potenziale evocato, che identifica il significato di un oggetto per il soggetto, comportando quindi una forma di comprensione, sia pure pragmatica, non semantica, implicita, e costituiscono la base delle funzioni cognitive di ordine superiore che intervengono nella successiva categorizzazione degli oggetti.

1.1 I Neuroni Specchio nella scimmia

I Neuroni Specchio sono stati originariamente scoperti nella corteccia premotoria ventrale del macaco, una specie, come l’uomo, eminentemente sociale.

Essi formano una particolare classe di cellule nervose che si attivano sia quando la scimmia esegue uno specifico atto motorio, per esempio afferrare un pezzo di cibo, sia quando essa osserva un altro individuo (scimmia o uomo) eseguire un atto motorio identico o simile (rivestono un ruolo fondamentale nella percezione dello spazio, nonché nella comprensione di intrinseche proprietà di oggetti e nell’apprendimento per associazione).

I Neuroni Specchio non rispondono alla semplice presentazione del cibo o di altri oggetti che pure interessano l’animale, né si attivano all’osservazione di un’azione mimata senza la presenza dell’oggetto. Affinché il Neurone Specchio si attivi è necessaria l’effettiva interazione della mano con un oggetto bersaglio dell’azione (Rizzolatti, Craighero 2004).

Essendo neuroni motori, i neuroni specchio sparano, come gli altri neuroni presenti nella corteccia premotoria, in associazione ad un atto motorio (per es. afferrare), mentre non si attivano per i singoli movimenti delle dita che formano tale atto motorio.

I Neuroni Specchio non si attivano soltanto durante movimenti eseguiti con la mano: vi sono, infatti, Neuroni Specchio che sparano anche quando la scimmia compie o osserva atti motori eseguiti con la bocca.

Gallese et al. (1996) hanno osservato in particolare l’attività di 532 neuroni localizzati nell’area detta F5 della corteccia premotoria frontale di tali primati. Gli esperimenti sono consistiti

nell'invitare la scimmia ad osservare azioni eseguite dallo sperimentatore (per esempio la manipolazione di un oggetto), e, in un secondo momento, ad imitarle.

La registrazione dell'attività neuronale della scimmia è stata effettuata sia durante l'osservazione che durante l'esecuzione dell'azione da parte di essa.

Ebbene, è stato evidenziato che 92 dei 532 neuroni considerati sono stati attivi in entrambe le fasi, di osservazione e di esecuzione dell'azione: tali neuroni sono stati definiti Neuroni Specchio, perché l'azione osservata sembra essere riflessa, come in uno specchio, nella struttura neuronale deputata alla rappresentazione motoria della stessa azione da parte dell'osservatore (Buccino et al., 2006).

Altri studi (Kohler et alii, 2002) hanno individuato l'attività di questi Neuroni Specchio anche all'interno di un sistema audio-motorio: infatti, 63 neuroni si sono scaricati sia quando la scimmia ha eseguito una determinata azione, sia quando essa ha udito i suoni associati all'azione eseguita.

Sono dunque due le proprietà di cui sono caratterizzati i Neuroni Specchio: la prima è la reazione alla vista, o al suono, di azioni dotate di significato; la seconda è rappresentata dalla loro attivazione durante l'esecuzione delle stesse azioni.

Gli stimoli visivi più significativi per l'attività dei Neuroni Specchio sono state quelle azioni nelle quali lo sperimentatore ha interagito con un oggetto attraverso l'uso delle mani (afferrandolo, posizionandolo e manipolandolo) o della bocca.

Per la maggior parte dei Neuroni Specchio, specificamente per quelli il cui compito consiste nel supportare un sistema visuo-motorio, più che audio-motorio, è stata evidenziata una chiara relazione tra l'azione visiva dalla quale sono stati attivati e la risposta motoria che hanno codificato.

La congruenza tra l'azione effettivamente osservata e quella eseguita ha stabilito la suddivisione dei Neuroni Specchio in tre gruppi: "strettamente congruenti", quando le azioni osservate ed eseguite corrispondono per il tipo di azione (per esempio afferrare qualcosa) e per il modo in cui è stata eseguita (per esempio afferrare qualcosa con una precisa impugnatura); "mediamente congruenti", quando sussiste una relazione, ma non un'identità, tra le azioni effettivamente osservate ed eseguite; infine, "non congruenti" per i quali le attività supportate di osservazione ed esecuzione dei movimenti non manifestano una chiara relazione.

Da queste ricerche emerge che esiste una integrazione multimodale senso-motoria conseguita dal Sistema dei Neuroni Specchio e che la funzione integrata di tali neuroni dà luogo a simulazioni di azioni che vengono utilizzate non solo per l'esecuzione delle azioni stesse, ma anche per la loro comprensione implicita quando vengono eseguite da altri.

Più recentemente, altre ricerche condotte con l'utilizzo di strumentazioni quali la risonanza magnetica funzionale, la stimolazione magnetica transcranica, l'elettroencefalogramma e test comportamentali hanno confermato che nel cervello umano esistono sistemi simili molto sviluppati.

1.2 I Neuroni Specchio nell'uomo

“Ma la cosa interessante circa la scoperta dei Neuroni Specchio è che essi sono stati osservati in un'area cerebrale dei primati che sembra essere corrispondente all'area di Broca negli esseri umani” (Kohler et alii, 2002: 848).

Non esistono a tutt'oggi dati sperimentali sul numero di Neuroni Specchio posseduti da ogni essere umano; tuttavia c'è ormai un accordo generale in ambito scientifico sul fatto che l'area F5 dei primati (dove sono stati localizzati i 92 neuroni specchio attivi all'interno di un sistema visuo-motorio e i 63 attivi in un sistema audio-motorio) sia omologa all'area di Broca appunto: lo sviluppo della regione cerebrale umana dedicata alla produzione linguistica è infatti collocabile all'interno del lungo processo evolutivo della corteccia frontale cominciato nei primati non umani (Petrides M., Pandya D. N., 1994).

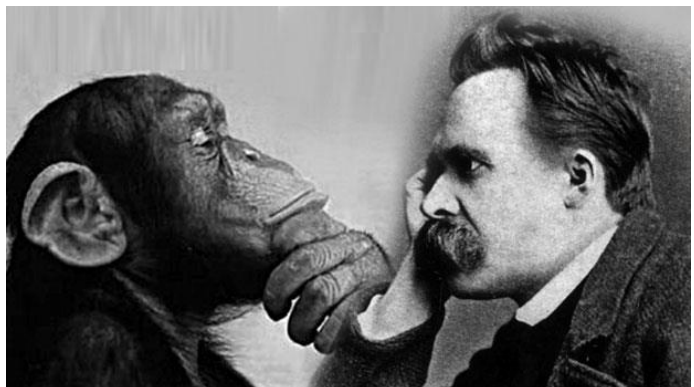
A supporto di ciò, alcune ricerche effettuate grazie alla Tomografia ad Emissione di Positroni (PET) su esseri umani durante l'atto di afferrare un oggetto hanno evidenziato che le aree cerebrali attivate sono state quelle del solco temporale superiore e la parte posteriore del giro frontale inferiore dell'emisfero sinistro: quest'ultima costituisce proprio l'area di Broca (area 44).

Ulteriori immagini hanno altresì rilevato che durante l'esecuzione di una sequenza di movimenti auto-ordinati della mano c'è stato un notevole aumento del flusso di sangue proprio in corrispondenza con tale area cerebrale (Gallese et alii, 1996).

Infine, sono stati di particolare rilevanza i dati di alcuni pazienti affetti da afasia non fluente, tipicamente causate da lesioni focali all'area di Broca (insieme alla compromissione della produzione linguistica, tipica per una disfunzione di quest'area cerebrale, sono stati registrati frequenti disturbi anche nella comunicazione di tipo pantomimico, basata su movimenti auto-ordinati).

Nell'uomo il sistema specchio (Buccino et al. 2001) è organizzato in maniera somatotopica: l'osservazione di azioni eseguite da altri con la mano, la bocca o il piede attiva regioni distinte del sistema motorio fronto-parietale, che si attivano nell'eseguire la stessa azione.

Le dimensioni sono più estese e le proprietà più complesse che nella scimmia: i neuroni specchio rispondono anche ad atti motori intransitivi o solo mimati, sono in grado di selezionare sia uno specifico tipo di atto che la sequenza dei movimenti che lo compongono, supportando livelli crescenti di astrazione.



CAPITOLO 2

FUNZIONI DEI NEURONI SPECCHIO

2.1 Riconoscimento dell'intenzionalità

La capacità grazie al Sistema Specchio di estrapolare le intenzioni altrui da catene di atti si estende nell'uomo alla finalità "contestualizzata" delle azioni.

Attualmente possiamo fare solamente ipotesi sui meccanismi neurali alla base delle abilità di mentalizzazione umane, ancora poco compresi da un punto di vista funzionale.

In particolare non abbiamo un modello neuro-scientifico chiaro di come gli uomini possono capire le intenzioni che promuovono le azioni altrui da loro osservate. Quando un individuo inizia un movimento al fine di conseguire uno scopo, come raccogliere una penna, ha chiaro in mente quel che sta per fare con l'oggetto, per esempio scrivere una nota su un pezzo di carta. In questa semplice sequenza di atti motori lo scopo finale dell'intera azione è presente nella mente dell'agente ed è riflesso in qualche modo in ogni atto motorio della sequenza.

La specificazione di una data intenzione alla base di un'azione, perciò, precede l'inizio dei movimenti. Questo però significa che quando stiamo per eseguire una determinata azione noi possiamo predirne anche le conseguenze. Ma una determinata azione può essere indubbiamente originata da intenzioni molto diverse.

Supponendo che qualcuno veda qualcun altro afferrare una tazza: i neuroni specchio per l'azione di afferramento verranno probabilmente attivati nel cervello dell'osservatore.

Il collegamento diretto tra l'azione osservata e la sua rappresentazione motoria nel cervello dell'osservatore, in ogni modo, può dirci solamente cosa è l'azione (afferrare) e non perché accade, cioè quale sia l'intenzione che ha indotto l'agente ad afferrare la tazza.

Ciò ha indotto taluni a sollevare obiezioni circa la rilevanza dei Neuroni Specchio nell'intelligenza sociale e, in particolare, nella determinazione delle intenzioni degli altri .

Ma cos'è un'intenzione d'azione? Determinare perché un'azione (afferrare la tazza) sia stata eseguita, cioè, determinare la sua intenzione, può essere equivalente a scoprire lo scopo dell'azione susseguente ancora non eseguita, (ad esempio, bere dalla tazza).

In uno studio fMRI recentemente pubblicato, i soggetti hanno osservato tre generi di sequenze filmate che illustravano: azioni manuali di afferramento di una tazza senza un contesto, solo contesto (due scene contenenti oggetti disposti su di un tavolo che suggeriscono il contesto di una colazione da cominciare o già ultimata), e azioni manuali di afferramento della stessa tazza all'interno dei due diversi contesti.

Nell'ultima condizione il contesto suggeriva quale diversa intenzione potesse essere associata all'azione di afferramento della tazza (rispettivamente, per bere o per sparecchiare la tavola). L'osservazione delle azioni all'interno del proprio contesto rispetto alle altre due condizioni ha determinato un significativo incremento dell'attività della parte posteriore del giro frontale inferiore e del settore adiacente della corteccia premotoria ventrale dove sono rappresentate le azioni manuali.

Da ciò risulta che le aree premotorie dotate di proprietà caratteristiche dei neuroni specchio, aree cioè che si attivano sia durante l'esecuzione che l'osservazione di un'azione, che prima si ritenevano coinvolte solamente nel riconoscimento di azioni, sono coinvolte anche nella comprensione del "perché" dell'azione, cioè dell'intenzione che l'ha promossa.

Un altro risultato interessante di questo studio è che essere o non essere istruito esplicitamente per determinare l'intenzione delle azioni osservate di altri non fa differenza in termini dell'attivazione delle aree specchio premotorie.

Questo vuole dire che, almeno per semplici azioni come quelle oggetto di questo studio, l'attribuzione di intenzioni si verifica automaticamente ed è messa in moto dall'attivazione obbligatoria di un meccanismo di simulazione incarnato.

Il meccanismo neurofisiologico alla base della relazione tra predizione dello scopo di un'azione ed attribuzione d'intenzioni è stato svelato da Fogassi et al., i quali hanno descritto nella scimmia una classe di neuroni specchio parietali la cui scarica durante l'osservazione di un atto motorio (afferrare un oggetto), è condizionato dal tipo di atti motori susseguenti non ancora osservati (per esempio, portare l'oggetto alla bocca), specificando così l'intenzione distale dell'azione complessiva.

Questo studio mostra che il lobo parietale inferiore della scimmia contiene neuroni specchio che si attivano in associazione con gli atti motori della scimmia (afferrare) solamente quando questi sono parte di una specifica azione tesa a conseguire uno scopo distale diverso (portare l'oggetto alla bocca o introdurlo in un contenitore).

Un dato neurone cioè, si attiva quando la scimmia afferra un oggetto solamente se l'azione di afferrare ha lo scopo di portare l'oggetto alla bocca e non se è mirata a metterlo in una tazza, o viceversa.

Sembra perciò che questi neuroni programmino uno stesso atto motorio in modo differente a seconda dello scopo distale dell'azione globale in cui tale atto motorio è inserito.

I singoli atti motori sono legati gli uni agli altri in quanto occupano stadi diversi all'interno dell'azione globale di cui fanno parte, costituendo così catene intenzionali predeterminate nelle quali ogni atto motorio seguente è facilitato da quelli precedentemente eseguiti.

La risposta visiva di molti di questi neuroni specchio parietali è simile alla loro risposta motoria, infatti, si attivano differentemente a seconda che l'atto di afferramento dell'oggetto da parte dello

sperimentatore osservato dalla scimmia sia seguito dal portare l'oggetto afferrato alla bocca o all'interno di una tazza. Deve essere sottolineato che i neuroni si attivano prima che la scimmia osservi lo sperimentatore avviare il secondo atto motorio (portare l'oggetto alla bocca o metterlo nella tazza).

Questa nuova proprietà dei neuroni specchio parietali suggerisce che oltre a riconoscere lo scopo dell'atto motorio osservato, questi neuroni sono in grado di discriminare atti motori identici a seconda dell'azione globale in cui sono collocati. Perciò questi neuroni non solo codificano l'atto motorio osservato, ma sembrano anche permettere alla scimmia che osserva di predire il successivo atto motorio dell'agente, e quindi la sua intenzione complessiva.

È possibile interpretare questo meccanismo come il correlato neurale dei primi segni di quelle sofisticate abilità di mentalizzazione che caratterizzano la nostra specie.

Il meccanismo di comprensione dell'intenzione appena descritto sembra essere piuttosto semplice: a seconda di quale catena motoria è stata attivata, l'osservatore attiverà lo schema motorio di ciò che, probabilmente, l'agente farà. Come può essersi formato tale meccanismo? Attualmente possiamo fare solo delle ipotesi al riguardo. Può essere ipotizzato che l'individuazione statistica di quali atti motori seguano più frequentemente altri atti motori, nel modo in cui sono abitualmente compiuti od osservati nell'ambiente sociale, può creare percorsi preferenziali che colleghino insieme schemi motori diversi. A livello neurale ciò può essere compiuto dalla concatenazione di popolazioni diverse di neuroni specchio che non solo programmano l'atto motorio osservato, ma anche quelli che normalmente seguirebbero in un determinato contesto. Attribuire semplici intenzioni consisterebbe perciò nel predire lo scopo di un incipiente nuovo atto motorio.

Secondo questa prospettiva, in contrasto con quanto affermato dalla scienza cognitiva classica, la predizione di azioni e l'attribuzione di intenzioni, non sembrano appartenere a domini cognitivi diversi, ma entrambi sarebbero fenomeni collegati, sostenuti dallo stesso meccanismo funzionale, la simulazione incarnata, di cui parleremo più avanti.

In uno studio di fMRI (Iacoboni et al., 2005) sono stati mostrati a dei volontari tre tipi di video: nel primo si vedono alcuni oggetti (teiera, tazza, piattino) in due contesti diversi, disposti cioè come se qualcuno stia per consumare un tè o lo abbia appena fatto; nel secondo si vede una mano che afferra una tazza; nel terzo una mano che afferra la tazza ma nei due contesti, tali da suggerire l'intenzione di prenderla per bere o di metterla via.

Non solo l'osservazione dell'azione attiva i Neuroni Specchio dei circuiti fronto-parietali più della semplice vista degli oggetti, ma l'attivazione è diversa a seconda dell'intenzione indicata dal contesto (maggiore nel caso del bere che del riporre la tazza).

La risposta del Sistema dei Neuroni Specchio dipende, inoltre, dall'appartenenza dell'azione osservata al repertorio di quelle conosciute.

In un esperimento di fMRI (Buccino et al., 2004) sono stati presentati dei video privi di sonoro in cui un uomo, una scimmia ed un cane compiono l'atto di mordere per mangiare o eseguono un atto comunicativo (parlare, schioccare le labbra, abbaiare).

L'atto ingestivo, comune alle diverse specie, determina in tutti e tre i casi l'attivazione delle

medesime aree fronto-parietali negli osservatori, evocando l'analoga rappresentazione motoria codificata nel loro circuito neuronale.

Si registra invece una forte risposta della parte premotoria della regione di Broca alla vista del movimento labiale dell'uomo, più debole allo schiacciare delle labbra da parte della scimmia e nessuna reazione all'abbaiare del cane.

Nel caso delle azioni comunicative solo quelle già codificate nel formato comportamentale dell'uomo, o in parte simili come lo schiacciare delle labbra della scimmia (lip smacking), attivano le regioni cerebrali corrispondenti.

L'esperimento evidenzia così anche due distinte modalità di comprensione: per l'atto di parlare (come di mordere) una immediata, "pre-concettuale", basata sulla "conoscenza motoria" implicita evocata dalla percezione; per l'abbaiare una comprensione mediata, categorizzata sulla base dell'informazione visiva (tramite le aree del solco temporale superiore, STS).

In un altro esperimento di fMRI (Calvo-Merino et al. , 2005) sulla visione di scene di danza da parte di un campione di volontari comprendente danzatori classici, maestri di capoeira e persone senza alcuna nozione di ballo, la risposta del sistema specchio, in ogni gruppo, è stata più marcata di fronte alle immagini dei comportamenti corrispondenti alle proprie competenze motorie.

2.2 Comunicazione e Linguaggio

Nell'uomo il Sistema Specchio è stato dimostrato in maniera indiretta attraverso apparecchi diagnostici e comprende molteplici aree cerebrali, incluse quelle del linguaggio, intervenendo, oltre che nella comprensione delle azioni, anche nella capacità di riprodurre il movimento osservato da altri.

Il linguaggio potrebbe essersi evoluto da un meccanismo finalizzato al riconoscimento delle azioni, cioè da un sistema di comunicazione gestuale: ascoltare espressioni linguistiche che descrivono azioni motorie determinerebbe l'attivazione degli stessi Neuroni Specchio che si attiverebbero eseguendo le stesse azioni motorie; una sorta di simulazione neurale delle azioni comunicative. In termini di movimenti muscolari, parlare è un'operazione simile a compiere un'azione (parole come gesti vocali).

Si sostiene che gli individui riconoscano le azioni fatte da altri in quanto la popolazione di neuroni attivata nella loro area premotoria (in senso generale) durante l'osservazione è congruente a quella che si genera internamente per riprodurre tale azione (Arbib, 1999): infatti, i Neuroni Specchio permettono una rappresentazione interna, o meglio, una simulazione incarnata di una determinata azione reale, sia essa linguistica o socio-comportamentale, "mappando le azioni osservate sugli stessi circuiti nervosi che ne controllano l'esecuzione attiva" (Gallese, 2003). Da questo punto di vista l'attività dei Neuroni Specchio rappresenta il punto di "condivisione" tra l'informazione convogliata dall'emittente e quella ricevuta dal ricevente, cruciale in ogni tipo di comunicazione: durante l'esecuzione di un'azione precedentemente osservata l'attivazione di una popolazione di Neuroni Specchio conforme a quella realizzata durante l'osservazione rappresenta la base che supporta la comprensione dell'azione e, quindi, la conferma dell'avvenuta comprensione dell'informazione.

Il Sistema dei Neuroni Specchio è da considerarsi di fondamentale importanza, a livello sia ontogenetico che filogenetico, per lo sviluppo del linguaggio.

A partire da questo meccanismo coinvolto nell'osservazione-esecuzione di azioni è plausibile considerare oggetto della percezione linguistica i "gesti fonetici" del parlante (Gallese et al, 1996): essi rappresentano le primitive che i meccanismi di produzione linguistica traducono in movimenti articolatori e, viceversa, sono anche le primitive che i meccanismi specializzati per la percezione linguistica recuperano dal segnale (Lieberman, Mattingly, 1989).

Secondo lo scopritore dei Neuroni Specchio, Giacomo Rizzolatti (Rizzolatti e Sinigaglia, 2006), questo Sistema ha delle implicazioni sul tema dell'origine del linguaggio, dal momento che la capacità di organizzare la produzione e l'emissione di suoni o il compimento di gesti a scopo comunicativo si sarebbe sviluppata a partire dal contesto in cui i simboli utilizzati erano collegati ad operazioni manuali.

L'ipotesi dell'origine motoria del linguaggio è rafforzata dal fatto che l'area F5 della scimmia è analoga, nell'uomo, all'area di Broca. L'analogia anatomica tra queste due aree suggerisce che vi sia una base comune neurale sia per la percezione sia per la produzione di movimenti linguistici e gestuali. Le strutture nervose connesse all'esecuzione di alcune azioni avrebbero un ruolo nella comprensione di espressioni linguistiche che descrivono quelle stesse azioni. L'omologia anatomica tra i circuiti di controllo motorio nella scimmia (area F5) e nell'uomo (area di Broca) confermerebbe l'ipotesi dello stretto legame tra linguaggio nell'uomo e gesto animale o umano che sia.

Pertanto, la differenza che si registra a livello funzionale, tra l'uomo e gli altri primati, in queste aree del cervello simili dal punto di vista anatomico, sembra suggerire che durante l'evoluzione della specie umana sia avvenuta una riutilizzazione con fini linguistici delle aree omologhe presenti nei nostri antenati; tali aree conservano probabilmente una funzione simile a quella di origine nei primati, dove sono coinvolte in compiti di controllo motorio non linguistico.

La struttura fisica dei suoni linguistici come stimolo per l'attivazione di una popolazione di neuroni specchio individua il punto di partenza della teoria motoria per la percezione del linguaggio, la quale stabilisce che i suoni linguistici vengono percepiti ugualmente a come essi vengono prodotti:

la popolazione di neuroni specchio attivata per la produzione o la comprensione di un determinato suono linguistico risulta la medesima (Williams et al, 2001).

Dunque, vista l'attivazione delle popolazioni di Neuroni Specchio, il linguaggio si identifica in una mera azione, i cui servo-meccanismi sono essenzialmente gli stessi rispetto a quelli che sottostanno alla pianificazione, all'esecuzione, al riconoscimento di altre azioni motorie (Steels, 2000). La transizione da un Sistema di Neuroni Specchio coinvolto nella comprensione e riconoscimento di azioni ad un altro coinvolto nella computazione linguistica suggerisce nuovi indirizzi teorici per lo studio dell'evoluzione del linguaggio.

Poiché il linguaggio è riconosciuto come azione costituita dall'insieme dei gesti fonetici, essi dovranno essere compresi e riprodotti. Se un determinato gesto fonetico produce l'attivazione di una precisa popolazione di neuroni, la stessa sarà attiva anche durante la riproduzione del gesto all'interno di un meccanismo imitativo.

Dal punto di vista dei Neuroni Specchio, la capacità imitativa rappresenta quindi un passo fondamentale per lo sviluppo ontogenetico del linguaggio e alcuni dati sperimentali provenienti da studi su soggetti autistici, nei quali l'imitazione è fortemente compromessa, avvalorano questa ipotesi.

2.3 Comprensione delle emozioni

Secondo alcuni scienziati la scoperta dei Neuroni Specchio potrebbe spiegare il fenomeno dell'empatia, rivelandone una ipotetica base biologica, giacché le strutture neurali coinvolte nelle sensazioni e nelle emozioni sembrano essere le stesse che si attivano quando attribuiamo a qualcun altro quelle "stesse" sensazioni ed emozioni, consentendoci di cogliere il vissuto altrui.

Secondo Gallese(2005) alla base dell'empatia ci sarebbe un processo neurologico definito "simulazione incarnata", cioè un meccanismo di natura essenzialmente motoria, molto antico dal punto di vista dell'evoluzione umana, caratterizzato da una serie di neuroni i quali, secondo questa teoria, agirebbero immediatamente prima dell'elaborazione propriamente cognitiva.

Gallese afferma: "percepire un'azione- e comprenderne il significato- equivale a simularla internamente".

Questo meccanismo instaura un legame diretto tra agente e osservatore, in quanto sia l'agente sia l'osservatore agiscono in modo "anonimo" e neutrale.

L'emozione dell'altro è costituita dall'osservatore e compresa grazie ad un meccanismo di simulazione che produce nell'osservatore uno stato corporeo condiviso con l'atto di quella espressione. È per l'appunto la condivisione dello stesso stato corporeo tra osservatore e osservato a consentire questa forma diretta di comprensione che potremmo definire "empatia" (Gallese 2006).

Le stesse strutture nervose coinvolte nell'analisi delle sensazioni ed emozioni sperimentate in prima persona sono attive anche quando tali sensazioni ed emozioni vengono riconosciute negli altri; il meccanismo di simulazione non appartiene perciò solo alla sfera delle azioni, ma, piuttosto è una modalità di funzionamento di base del nostro cervello, ogni volta che siamo impegnati in una relazione interpersonale.

Ormai numerosi studi attestano il ruolo dei neuroni specchio nel riconoscimento delle emozioni, nelle quali l'associazione tra la percezione e azione è ancora più stretta al fine di regolare le strategie di adattamento agli eventi ambientali. Questi circuiti scaricano solo se si tratta di un soggetto agente, a "prescindere" dal fatto che tale soggetto sia colui che osserva la scena o colui che viene osservato (Gallese 2006).

Uno stesso circuito neurale, che coincide in parte con la corteccia premotoria ventrale e include l'amigdala e l'insula, in particolare la sua regione anteriore, viene attivato sia durante l'osservazione che l'imitazione dell'espressione facciale delle emozioni di base, paura, rabbia, felicità, disgusto, sorpresa, tristezza (Car et al., 2003). Percezione e produzione attiva delle manifestazioni espressive avrebbero quindi una base comune.

Il ruolo più importante sembra svolto dall'insula (più grande nell'uomo rispetto alla scimmia) che connette nei primati il sistema limbico con il sistema dei neuroni specchio ed è un centro di integrazione visceromotoria, trasforma gli input sensoriali in reazioni viscerali.

Uno studio di fMRI (Wicker et al., 2003) ha messo a confronto l'esperienza del disgusto provata direttamente da un gruppo di soggetti sottoposti a inalazioni maleodoranti e gli effetti su di loro dell'osservazione di espressioni disgustate mostrate in alcuni filmati. In entrambi i casi è stata attivata l'insula anteriore di sinistra (Bruce et al., 1981; Perrett et al., 1982) dove sono stati descritti neuroni che rispondono alla vista dei volti. Lo confermano alcuni casi clinici: la lesione dell'insula anteriore (Calder et al., 2000) non provoca solo un'incapacità selettiva di provare disgusto, ma anche l'impossibilità di riconoscere la stessa emozione nelle espressioni altrui; un deficit analogo presenta un paziente affetto da un danno bilaterale dell'insula (Adolphs et al., 2003).

Il meccanismo specchio risulta attivo anche nel riconoscimento del dolore.

I neuroni della corteccia cingolata anteriore (una porzione mesiale del lobo frontale) in un paziente neurochirurgico hanno mostrato la stessa risposta sia a stimolazioni dolorose somministrategli direttamente che a quelle viste applicare al corpo del neurochirurgo (Hutchison et al., 1999).

In un altro esperimento di fMRI (Singer et al., 2004) insula anteriore e corteccia cingolata anteriore venivano attivate sia durante la somministrazione ai soggetti di stimoli dolorosi sia se

immaginavano che fossero applicati al corpo del partner, fuori della loro portata visiva. Interessanti conclusioni sono state raggiunte in uno studio (Freedberg et al., 2007) sull'emozione estetica: anche nello spettatore di un'opera d'arte vengono eccitati gli stessi circuiti neurali corrispondenti alle azioni o emozioni rappresentate (le tensioni muscolari dei "Prigioni" di Michelangelo, le espressioni delle vittime dei "Disastri della guerra" di Goya) oppure ai gesti eseguiti dal pittore nel comporre l'opera, come per le macchie di colore di Pollock, la tela squarciata di Lucio Fontana, persino una natura morta.

La comprensione delle emozioni altrui veicolata dal Sistema Specchio è diretta e di tipo esperienziale, non cognitivo, fondata sul formato neurale condiviso che è collegato alla sensazione del medesimo stato corporeo.

Nel Sistema dei Neuroni Specchio è possibile identificare il substrato biologico dell'empatia, cioè della possibilità di avere delle emozioni altrui un'esperienza dall'interno, come se fossero provate in prima persona (certo, c'è differenza tra percepire una smorfia di dolore di un altro e provare compassione).

Anche per la sfera emozionale però, la comprensione immediata, intuitiva, a livello visceromotorio è un primo passo verso la compartecipazione empatica che può svilupparsi nelle relazioni interpersonali coinvolgendo il livello cognitivo e cosciente.

2.4 Imitazione e Apprendimento

Il circuito formato da corteccia premotoria ventrale e da corteccia parietale posteriore, assieme agli input visivi provenienti dalla parte posteriore del solco temporale superiore, è la base dell'imitazione: dalla ripetizione di movimenti semplici, comune anche alle scimmie, come alzare il dito indice (Iacoboni et al., 1999), alla riproduzione di pattern motori complessi e organizzati tipica delle forme mature di imitazione umana.

L'imitazione motoria è una funzione cognitiva che implica l'osservazione, l'immaginazione motoria e l'esecuzione dell'azione (Buccino et al., 2006). Le basi neurali ed i meccanismi funzionali di tale facoltà sono poco conosciuti.

Sin dalla loro scoperta i ricercatori si sono chiesti se i Neuroni Specchio potessero essere alla base dell'imitazione (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006).

Ma cosa s'intende precisamente quando si parla di imitazione? Esistono due importanti nozioni di

imitazione: la prima, diffusa per lo più tra gli psicologi sperimentali, si riferisce alla capacità di un individuo di replicare un atto, che in qualche modo appartiene al suo patrimonio motorio, dopo averlo visto fare dagli altri; la seconda, propria degli etologi, presuppone che tramite l'osservazione, un individuo apprenda un pattern d'azione nuovo e sia in grado di riprodurlo nei dettagli (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006).

Secondo la prima nozione, l'imitazione potrebbe essere basata su un meccanismo che associa direttamente l'azione osservata alla rappresentazione motoria interna di quell'azione ("direct matching hypothesis"). Particolare rilevanza assumono gli studi di Iacoboni e colleghi (Iacoboni et al., 1999) che confermano l'ipotesi che il Sistema dei Neuroni Specchio sia implicato nell'imitazione di atti già presenti nel vocabolario motorio dell'osservatore, suggerendo una traduzione motoria immediata dell'azione stessa.

Lo studio è stato così condotto: sullo schermo di un computer sono stati presentati un punto di fissazione e immagini raffiguranti (A) la mano di una persona che alzava l'indice o il medio, (B) la stessa mano ferma sul cui dito indice o medio compariva una crocetta, (C) uno sfondo grigio su cui appariva una crocetta. I partecipanti, volontari sani, dovevano limitarsi ad osservare gli stimoli (condizione di "osservazione"), oppure, dopo averli osservati, alzare il dito che avevano visto muoversi (condizione di "imitazione") o che era indicato dalla crocetta.

Nella situazione (C) l'istruzione era di muovere il dito indice quando la crocetta era a sinistra del punto di fissazione, il dito medio quando la crocetta era a destra.

L'attività cerebrale è stata esaminata attraverso la risonanza magnetica funzionale per immagini (fMRI) per misurare in vivo le funzioni cerebrali.

La prima condizione di osservazione-esecuzione, cioè quella direttamente imitativa, ha prodotto un segnale cerebrale più intenso rispetto alle altre due condizioni di osservazione-esecuzione.

In particolare tale risultato è stato rilevato in tre aree: nella parte posteriore del giro frontale inferiore di sinistra (opercolo frontale sinistro), nella regione parietale anteriore destra e infine nell'opercolo parietale destro. Le prime due aree sono risultate attive anche durante le tre condizioni di sola osservazione.

Essendo i partecipanti a conoscenza del compito da eseguire, cioè sapevano se dovevano muovere il dito o se dovevano astenersi dal farlo, i risultati ottenuti hanno permesso di affermare che l'immagine motoria di un movimento è sempre presente anche durante la sola osservazione. Tale attività di fondo aumenta di intensità quando è presente lo stimolo da imitare. Ciò fa supporre che l'opercolo frontale sinistro (corrispondente all'area di Broca, area 46 di Brodmann) e la regione parietale anteriore destra abbiano un meccanismo del tipo associazione diretta osservazione-esecuzione. Questo confermerebbe il coinvolgimento del Sistema dei Neuroni Specchio nell'imitazione di atti già presenti nel patrimonio motorio dell'osservatore, codificando l'azione osservata in termini motori e rendendo in tal modo possibile una replica.

L'attivazione dell'area parietale anteriore destra durante l'osservazione dell'azione starebbe ad indicare la formazione di una copia cinestesica del movimento da imitare, così da poterlo memorizzare e ripetere. L'area frontale inferiore sinistra si attiverebbe, invece, a seguito dell'osservazione delle azioni, ma con lo scopo di comprenderne il significato.

Si può concludere che l'area inferiore frontale sinistra (in cui è localizzata l'area di Broca), codifica

lo scopo del movimento senza definire i precisi dettagli della sequenza motoria (per esempio, sollevare il dito); mentre l'attivazione dell'area parietale anteriore destra riflette la codifica di precisi aspetti cinestetici dell'azione da imitare (per esempio, di quanto il dito dovrebbe essere sollevato).

Quanto sostenuto fino a questo punto vale, però, per l'imitazione intesa secondo la prima accezione del termine (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006). Ma cosa accade quando essa non si riduce alla sola ripetizione di un atto appartenente al repertorio motorio dell'osservatore, bensì richiede l'apprendimento di un pattern d'azione nuovo? Si può ipotizzare, anche in questo caso, un intervento da parte del sistema dei neuroni specchio? L'apprendimento via imitazione risulterebbe dall'integrazione di due processi distinti: il primo dovrebbe consentire all'osservatore di segmentare l'azione da imitare nei singoli elementi che la compongono, ovvero di convertire il flusso continuo dei movimenti visti in una serie di atti appartenenti al suo patrimonio motorio; il secondo dovrebbe permettergli gli atti motori così codificati nella sequenza più idonea affinché l'azione eseguita rispecchi quella del dimostratore (Byrne & Russon, 1998; Byrne, 2002; Byrne, 2003). Il Sistema dei Neuroni Specchio scarica in risposta ai singoli atti motori elementari che costituiscono l'azione osservata; si presuppone che attraverso tale meccanismo l'azione vista sia suddivisa nelle sue componenti elementari e codificata dal punto di vista motorio.

Quando l'azione da imitare corrisponde al singolo atto elementare già presente nel sistema dei neuroni specchio, tale atto può essere immediatamente inviato alle strutture cerebrali preposte al movimento e replicato. In questo tipo di imitazione non si verifica alcun tipo di apprendimento (Iacoboni et al., 1999).

Quando l'imitazione richiede l'apprendimento di un nuovo pattern motorio, viene richiesto un ulteriore meccanismo. Si suppone che tale tipo di meccanismo di apprendimento consista nella ricombinazione degli atti motori osservati in un nuovo pattern motorio.

La "vera" imitazione quindi, consisterebbe in due passi ben definiti: la codifica dei singoli atti motori elementari di ogni azione complessa, da parte del Sistema dei Neuroni Specchio, e la ricombinazione di tali atti codificati in un nuovo pattern motorio così da poter replicare l'azione osservata.

Buccino e colleghi (Buccino et al., 2004b), si sono occupati di definire i substrati neurali alla base dell'apprendimento per imitazione e responsabili della ricombinazione degli atti motori elementari in un nuovo pattern motorio.

A tal fine è stato realizzato uno studio, eseguito con la risonanza magnetica funzionale per immagini, in cui sono stati reclutati soggetti sani che non avevano mai prima di allora suonato una chitarra. La condizione fondamentale consisteva nell'osservazione di un video in cui si vedeva la mano di un chitarrista professionista mentre eseguiva alcuni accordi, e nell'imitazione, dopo un breve pausa, degli accordi visti. Inoltre, la sperimentazione prevedeva anche tre condizioni di controllo: la prima era una condizione di non-imitazione, durante la quale i partecipanti, una volta osservato l'accordo eseguito dal maestro, dovevano eseguire un'azione diversa dalla produzione dell'accordo musicale (presa e rilascio del manico, strofinio dei tasti,...); la seconda era una condizione di osservazione per cui i partecipanti dovevano guardare dapprima il manico della chitarra che oscillava e poi l'accordo eseguito dal maestro; la terza era una condizione di

esecuzione durante la quale i soggetti potevano provare ad eseguire un accordo a loro piacimento. L'osservazione degli accordi a scopo imitativo determinava l'attivazione del circuito dei Neuroni Specchio, confermando un suo ruolo nell'apprendimento per imitazione. Infatti, durante tutte le fasi imitative è stata evidenziata una forte attivazione della parte rostrale del lobo parietale inferiore, della corteccia premotoria e della parte opercolare del giro frontale inferiore, strutture che coincidono con il Sistema dei Neuroni Specchio.

Lo stesso circuito si attivava, anche se in modo minore, nelle condizioni di controllo quando i partecipanti dovevano guardare l'accordo eseguito dal maestro oppure, dopo averlo osservato, muovere le mani sulla chitarra, senza però provare a fare alcun accordo.

Inoltre, durante la pausa della condizione imitativa è stata osservata un'attivazione più forte della parte rostrale del lobo parietale inferiore rispetto alla pausa della condizione non imitativa. Questo era dovuto al fatto che, durante la pausa della condizione imitativa, i soggetti dovevano ricordare gli accordi osservati per poi imitarli, mentre nella condizione di non-imitazione potevano scegliere di suonare un accordo liberamente.

Il dato più interessante è stato che durante la pausa prima dell'imitazione compariva anche un'intensa ed estesa attivazione di una regione della corteccia frontale corrispondente all'area 46 di Brodmann e di aree della corteccia mesiale anteriore. Ovviamente, durante l'esecuzione del movimento si attivavano le aree motorie indipendentemente dalla natura imitativa o meno del compito. Appare evidente come la trasformazione dell'informazione visiva in un'opportuna risposta motoria avvenga nel Sistema dei Neuroni Specchio.

Più precisamente, i Neuroni Mirror localizzati nel lobo parietale inferiore e nel lobo frontale traducono in termini motori gli atti elementari che caratterizzano l'azione osservata (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006). Tuttavia, le risposte rilevate durante le pause prima dell'imitazione e dell'esecuzione di accordi a piacere paiono indicare che l'attivazione del Sistema dei Neuroni Specchio avvenga per così dire sotto il controllo di alcune aree della corteccia frontale, in particolare dell'area 46 di Brodmann, e della corteccia mesiale anteriore.

Non pochi autori (Fuster & Alexander, 1971; Funahashi et al., 1990) in passato hanno attribuito all'area 46 funzioni prevalentemente legate alla "memoria di lavoro" – capacità di elaborare/mantenere nel breve termine la memoria di lavoro/le sequenze motorie. Ma i dati del presente esperimento suggeriscono ulteriori funzioni per quest'area: oltre alla costituzione di una memoria di lavoro, l'area 46 sembrerebbe, infatti, responsabile della ricombinazione dei singoli atti motori (preceduta dalla loro rappresentazione motoria nel Sistema dei Neuroni Specchio) e della definizione di un nuovo pattern d'azione, il più possibile corrispondente a quello esemplificato dal dimostratore.

Le aree corticali anteriori mesiali, attive solo nelle condizioni di imitazione e prima dell'avvio dell'azione, sembrano invece, essere indice della decisione dell'individuo ad agire, avendo quindi un ruolo di inibizione/facilitazione dell'azione prima della sua esecuzione.

Buccino e colleghi (Buccino et al., 2004b), con il loro studio, hanno dimostrato il coinvolgimento della corteccia prefrontale dorsolaterale sinistra (DLPFC) (area 46 di Brodmann) principalmente durante la preparazione motoria dell'esecuzione per imitazione. Ad opera di quest'area, singoli elementi motori, già presenti nel Sistema dei Neuroni Specchio, vengono selezionati e combinati in

un nuovo pattern motorio. Allo scopo di verificare il ruolo preciso svolto dalla DLPFC, Vogt e colleghi (Vogt S. et al., 2007a) hanno realizzato uno studio in cui sono stati reclutati 16 chitarristi e 16 non chitarristi. Ai partecipanti è stata concessa una sessione pratica di 4 accordi il giorno precedente l'indagine diagnostica. Il giorno seguente i soggetti sono stati testati sugli accordi appresi il giorno prima e su accordi presentati ex novo, in quattro condizioni: nella prima situazione (osservazione) i soggetti hanno osservato attentamente un video che mostrava la mano di un chitarrista mentre suonava gli accordi, conosciuti o non, da eseguire; nella seconda (preparazione) è stato mostrato un video che istruiva sugli accordi da riprodurre; nella terza (esecuzione) i partecipanti dovevano imitare gli accordi osservati e infine nella quarta (pausa) i soggetti ritornavano ad assumere una posizione di riposo.

Nelle diverse condizioni l'attività cerebrale è stata esaminata con la risonanza magnetica funzionale per immagini. I risultati hanno confermato il ruolo della DLPFC nella selezione e nella combinazione delle rappresentazioni motorie del Sistema dei Neuroni Specchio e hanno mostrato come quest'ultimo sia maggiormente attivo durante l'osservazione di azioni nuove rispetto all'osservazione di quelle già apprese.

È stato dimostrato che la DLPFC è attiva non solo durante l'osservazione delle azioni, ma anche durante la preparazione motoria (Vogt et al., 2007b). L'area 46 è risultata essere maggiormente attiva durante l'osservazione delle azioni e la preparazione motoria degli accordi sconosciuti, mentre durante l'esecuzione di quelli conosciuti (esercitati durante la fase di training del giorno precedente), l'attivazione di tale area risultava diminuita o assente.

La funzione della DLPFC si può interpretare in termini di integrazione delle informazioni sensoriali e motorie e di selezione del comportamento appropriato. Data la chiara compatibilità visuomotoria nei compiti richiesti, l'attivazione dell'area 46 non è stata interpretata come un meccanismo per la comprensione dell'attività richiesta, ma come un controllo effettuato dai centri superiori delle rappresentazioni elementari durante l'apprendimento di materiale nuovo. Infatti, è stato dimostrato il ruolo indiscusso della corteccia prefrontale nelle operazioni non di routine e la diminuzione della sua attivazione di pari passo con l'apprendimento e il consolidamento dell'azione considerata. I chitarristi esperti hanno mostrato segnali significativamente più deboli rispetto ai non chitarristi nelle regioni prefrontali durante l'imitazione sia degli accordi nuovi sia di quelli esercitati il giorno precedente. L'attivazione della corteccia frontale nei chitarristi è dovuta principalmente al compito di preparazione motoria dell'accordo, perché essi hanno attinto l'accordo da eseguire dal loro vasto repertorio di accordi già presente nel loro sistema dei neuroni specchio e ciò spiega la parziale attivazione dell'area 46. Nei non-chitarristi è stata riscontrata una forte attivazione della corteccia prefrontale dorsolaterale sinistra sia per gli accordi sconosciuti che per quelli appresi durante la sessione di training. Apparentemente tale risultato potrebbe essere in contrasto con gli studi precedenti (Buccino et al., 2004c), che hanno dimostrato come solo le azioni già presenti nel repertorio motorio dell'osservatore producano un'attivazione del sistema dei neuroni specchio. Questa ambiguità può essere spiegata riflettendo sugli obiettivi degli studi. Durante l'osservazione non seguita dall'imitazione, l'osservatore tende a far risuonare preferibilmente azioni già contenute nel proprio repertorio motorio. Mentre durante l'osservazione attuata al fine di imitare, le nuove azioni, e non le azioni familiari, inducono

un'attivazione più forte nel sistema dei neuroni specchio.

A capo di tale differenza vi è il ruolo delle aree prefrontali che inviano stimoli modulatori quando si tratta di osservare un'azione nuova al fine di impararla.

Il Sistema dei Neuroni Specchio risulta, quindi, essere coinvolto durante le prime fasi di apprendimento per imitazione.

Quando è richiesto un comportamento imitativo, le azioni nuove da osservare vengono scomposte in micro sequenze familiari attraverso la risonanza motoria del Sistema dei Neuroni Specchio (Buccino et al., 2004b). Le combinazioni di tali micro sequenze in nuove azioni configurate procedono sotto il controllo supervisore della corteccia prefrontale dorsolaterale sinistra.

2.5 La Simulazione incarnata

“Embodied simulation” è un’esperienza che precede ogni mediazione concettuale e linguistica, inferenze o introspezioni, radicata nelle strutture neurali (motorie e visceromotorie), che permette di esperire l’altro come un “altro sé” e costituisce il “livello di base” delle relazioni interpersonali, uno “stadio necessario per il corretto sviluppo di strategie cognitive sociali più sofisticate”.

Questo meccanismo funzionale è cruciale per l’intelligenza sociale: ci rende capaci di entrare in una “consonanza intenzionale” con gli altri e di empatizzare con loro. È la condizione per lo sviluppo dell’intersoggettività, che si configura come un “sistema della molteplicità condivisa” (shared manifold) in cui le identità individuali prendono origine dal costituirsi di uno spazio di senso interpersonale comune (Gallese, 2006). Questo spazio racchiude la molteplicità, la ricchezza, la complessità delle esperienze esplicite ed implicite che entrano in gioco nelle relazioni intersoggettive stabilendo delle relazioni empatiche (Gallese, 2003).

Attraverso la simulazione incarnata non solo l’osservazione delle sensazioni tattili altrui attiva gli stessi circuiti nervosi eccitati durante l’esperienza in prima persona di essere toccati, ma la diversa intensità di attivazione permette al soggetto di distinguere chi viene toccato.

“L’immaginazione motoria, l’osservazione di azioni, l’imitazione di azioni, e l’empatia sembrano condividere lo stesso meccanismo di base: una simulazione incarnata, la quale consente di creare modelli del mondo reale o immaginario” (Gallese, 2003).

La simulazione incarnata non presuppone alcuna inferenza o introspezione, ma semplicemente una riproduzione automatica, non consapevole, pre-riflessiva, degli stati mentali altrui.

Secondo Gallese, “le intenzioni dell’altro sono comprese perché sono condivise a livello neurale”. Numerosi studi sui neonati mostrano la precocità del processo di simulazione: i neonati, già a poche ore dalla nascita, sono capaci di riprodurre i movimenti della bocca e del volto degli adulti che li guardano. I bambini di questa età non hanno alcuna capacità di simulare tramite inferenze e da ciò si deduce che la simulazione incarnata debba essere presente dalla nascita in maniera automatica.

Il tema fondamentale sostenuto è che la simulazione costituisce un meccanismo cruciale dell’intersoggettività ed i neuroni specchio ne rappresentano i correlati sub-personali.

<< Grazie alla simulazione incarnata non assistiamo solo ad un’azione, emozione o sensazione, ma parallelamente nell’osservatore sono generate delle rappresentazioni interne degli stati corporei associati a quelle stesse azioni, emozioni e sensazioni, “come se” stesse compiendo un’azione simile o provando una simile emozione o sensazione. Ogni relazione intenzionale può essere vista come una relazione tra un soggetto ed un oggetto. I sistemi di neuroni specchio stabiliscono una corrispondenza tra le diverse relazioni intenzionali in modo neutro rispetto alla specifica qualità o identità del parametro agente/ soggetto. Attraverso uno stato funzionale condiviso da due corpi diversi che tuttavia ubbidiscono alle stesse regole funzionali, “l’altro oggettuale” diventa in una certa misura “un altro se stesso” >> (Gallese, Migone, Eagle, 2006).

La simulazione incarnata non è l’unico meccanismo funzionale alla base dell’intelligenza sociale, ma funziona in parallelo con la simulazione standard. In quest’ultima, la persona si mette volontariamente nei panni dell’altro, tenta di osservare le cose dal suo punto di vista, riproducendo in se stesso, anche con l’ausilio dell’immaginazione, gli stessi stati mentali.

Il “Sistema Multiplo di Condivisione”, come già detto, è un sistema che facilita le relazioni interpersonali promuovendo la comunicazione intersoggettiva, l’imitazione e l’attribuzione di intenzioni agli altri, riconosciuti come nostri simili. Questo Sistema viene definito secondo tre livelli differenti:

- Il livello fenomenologico comprende quel particolare senso di familiarità che scaturisce anche dall’appartenere ad una comunità sociale che condivide lo stesso formato rappresentazionale;
- Il livello funzionale è costituito dalle simulazioni incarnate, modalità “come se” d’interazione che permettono di creare modelli del sé/ altro;
- Il livello sub-personale è caratterizzato dall’attività dei circuiti neurali specchio, che sono interconnessi ai cambiamenti di stato corporei a più livelli. I neuroni specchio rappresentano il correlato sub-personale della condivisione multimodale dello spazio intenzionale. Tale spazio condiviso ci consente di apprezzare, esperire e comprendere le azioni che osserviamo, e le sensazioni ed emozioni che riteniamo esperite dagli altri (Gallese, 2003).

CAPITOLO 3

NEURONI SPECCHIO ALLA BASE DI ALCUNI DISTURBI DELL'ETA' EVOLUTIVA

3.1 Neuroni Specchio e Disturbi specifici dello sviluppo motorio

I disturbi specifici dello sviluppo motorio (Specific Developmental Disorder of Motor Function secondo l'ICD-10) sono noti anche come disturbi della coordinazione motoria (Developmental Coordination Disorder secondo il DSM-IV o DCM) o come disprassia evolutiva (Developmental Dyspraxia)

La disprassia può essere definita come una difficoltà a rappresentarsi, programmare ed eseguire atti motori consecutivi deputati e finalizzati ad un preciso scopo ed obiettivo (G. Sabbadini, L. Sabbadini 1995).

Sembra questa la definizione più completa del concetto, tenendo conto che non esiste attualmente una concordanza nello stabilire in modo inequivocabile dei criteri distintivi esatti di disturbi motori che clinicamente appaiono alquanto differenti tra loro dal punto di vista sia clinico che eziopatogenetico.

Le differenti definizioni che si trovano in letteratura risentono quindi di questa eterogeneità di fondo, per cui in ognuna di esse si trovano di volta in volta enfatizzati o, al contrario, trascurati differenti aspetti.

Così l'ICD 10 prende in esame questo disturbo classificandolo come "Disturbo evolutivo specifico della funzione motoria" evidenziandone i seguenti aspetti:

- Difficoltà di coordinazione, presente dalle prime fasi di sviluppo e non dipendenti da deficit neurosensoriali o neuromotori
- Entità variabile della compromissione e modificabile in funzione dell'età

- Ritardo di acquisizione delle tappe dello sviluppo motorio, a volte accompagnato da ritardo dello sviluppo del linguaggio (particolarmente nelle sue componenti articolatorie)
- Goffaggine nei movimenti
- Ritardo nell'organizzazione del gioco e del disegno (tipo di deficit costruttivo)
- Presenza non costante di segni neurologici sfumati privi di sicuro significato localizzatore
- Difficoltà scolastiche e problemi socio-emotivo-comportamentali

Il DSM-IV classifica questo disturbo come “Disturbo evolutivo della coordinazione motoria” (Developmental Coordination Disorder), prevedendo per la diagnosi il verificarsi dei seguenti tre criteri:

- Presenza di una marcata difficoltà o di un ritardo nello sviluppo della coordinazione motoria; le performances risultano inferiori rispetto ad un bambino normale comparando i dati, sia per Età Mentale (EM), che per Età Cronologica (EC)
- Difficoltà di coordinazione non dovute a condizioni patologiche mediche, quali PCI, distrofia muscolare o altro; se il ritardo di sviluppo cognitivo è presente le difficoltà motorie debbono essere di gran lunga prevalenti rispetto ad altre generalmente associate
- Queste difficoltà interferiscono con l'apprendimento accademico e con le attività della vita quotidiana

In altri termini, nel disturbo di tipo disprassico il soggetto non presenta solo una difficoltà nell'eseguire, dal punto di vista della sola coordinazione, un atto motorio, ma non riesce soprattutto a programmare ed a pianificare una serie di movimenti più o meno complessi, con lo scopo di giungere all'attuazione di un progetto motorio pensato in funzione di un possibile cambiamento di ciò che viene percepito dell'ambiente.

La scoperta dei Neuroni Specchio consente di avere un nuovo modello teorico per spiegare in termini di unitarietà i meccanismi neurofisiologici che stanno alla base dell'apprendimento delle competenze motorie, linguistiche, rappresentative e cognitive, partendo da un substrato neurale primario appartenente al sistema motorio.

La funzione dei Neuroni Specchio è di rappresentare azioni osservate per portare ad una comprensione delle stesse, con il fine di auto sperimentare ed apprendere le informazioni acquisite dall'ambiente per agire in modo appropriato.

Nel soggetto sano le azioni fatte da altri vengono riconosciute in quanto la popolazione di neuroni attivata nell'area premotoria durante l'osservazione è congruente con quella che si genera per riprodurre tale azione, infatti i neuroni specchio permettono di giungere ad una rappresentazione interna di una determinata azione reale, sia essa motoria, linguistica, che socio-comportamentale mappando le azioni osservate sugli stessi circuiti neuronali che ne controllano l'esecuzione attiva

(Rizzolatti, 1998; Arbib, 2000).

Alcuni autori (Wilson, 2004; Niemeijer, 2007) hanno ipotizzato che alla base del disturbo di coordinazione motoria possa esserci un deficit del Sistema dei Neuroni Specchio, che non consente all'individuo di rappresentarsi internamente l'atto motorio da compiere, assumendo una prospettiva in prima persona, ma percependo parti del proprio corpo come esterne ad esso.

Recenti valutazioni dell'immaginazione motoria nei bambini con DCM hanno evidenziato che essi hanno difficoltà nell'adottare, durante la simulazione mentale, una prospettiva in prima persona o egocentrica. Ad esempio, utilizzando un compito di rotazione mentale della mano, in cui i bambini devono giudicare se la mano presentata secondo diverse rotazioni angolari è quella destra o sinistra, il pattern di risposta dei bambini con DCM è atipico; infatti, il gruppo di controllo utilizza automaticamente un punto di vista egocentrico, a differenza dei bambini con DCM, i quali giudicano la mano non come una rappresentazione del proprio corpo, ma come un oggetto, ossia come prospettiva esterna, in terza persona.

Sempre Wilson, in un altro suo lavoro del 2001 ha rilevato nei soggetti con DCM un deficit delle sequenze motorie: il compito assegnato era quello di effettuare un pointing visivamente guidato e, a differenza del gruppo di controllo, i bambini con DCM mostravano deficit di immaginazione delle sequenze di movimento, non presentavano alcuna relazione tra i movimenti reali e quelli immaginati, ma presentavano una dissociazione atipica nell'esecuzione effettiva dei movimenti ed in quella immaginata.

Proprio questa difficoltà ad immaginarsi in una situazione motoria, a rappresentarsi internamente il proprio corpo è tipica dei soggetti che presentano un Disturbo della Coordinazione Motoria. Ciò è responsabile della difficoltà che questi bambini finiscono per avere nel controllo della propria motricità, particolarmente nell'esecuzione di compiti che richiedono l'attivazione di processi di elaborazione mentale, come ricordare sequenze motorie complesse (allacciarsi le scarpe, fare nodi, compiere un esercizio ginnico o sequenze di danza, riprodurre un disegno a memoria). Sembra che questi disturbi possano essere conseguenti ad un ritardo di maturazione o ad una lesione vera e propria del lobo parietale, la cui disfunzione porterebbe ad una carenza nell'attivazione delle risposte motorie collegate ai processi di immaginazione.

I bambini affetti da disprassia evolutiva presentano un ritardo nelle normali tappe dello sviluppo motorio (deambulazione autonoma, corsa), con alterazioni della motricità grossolana e fine, sia a livello degli arti sia nel sistema bucco-facciale.

Presentano significative difficoltà sia nell'esecuzione delle normali attività della vita quotidiana (indossare i vestiti, svitare un tappo di bottiglia ecc.) sia nelle attività scolastiche (scrittura, disegno).

La letteratura più recente infatti, definisce la disgrafia come "un deficit della qualità del tracciato grafico", ovvero come disturbo che si manifesta nella difficoltà di organizzazione delle componenti esecutivo-motorie della scrittura.

Le neuroscienze riconducono le difficoltà grafiche ad una disgrafia disprassica.

Scrivere richiede l'acquisizione ed il controllo di numerose abilità che si riferiscono al dominio prassico, linguistico e cognitivo. Le componenti prassiche, comuni ai compiti di copiatura, di dettato e di scrittura, richiedono il controllo di numerose sottocomponenti: recupero dei pattern grafo-motori, coordinazione oculo-motoria, velocità motoria nella produzione dei grafemi.

Il movimento della scrittura è la combinazione di flessione, estensione, adduzione e abduzione delle dita. Questo tracciato si integra al lento processo di adduzione dell'intero arto superiore.

La postura anticipa l'azione e lo stato tonico caratterizza e sostiene la natura dell'azione.

La contrazione del tronco e del polso e/o i ritardi nell'organizzazione posturale possono impedire i movimenti economici di traslazione che scandiscono l'attività della scrittura.

Quando la scrittura, svolta con un ritmo eccessivamente lento o rapido, è illeggibile ed inestetica, si riscontra la disgrafia, che non colpisce necessariamente gli aspetti linguistici della scrittura, ma le sue componenti motorie e visuo-spaziali, giacché il deficit riguarda la difficoltà a trasferire informazioni visive al sistema grafomotorio: il bambino disgrafico vede ciò che vuole scrivere o disegnare, ma non sa tradurre in schemi motori ciò che percepisce visivamente.

Il disturbo disgrafico quindi, può interferire non soltanto nella produzione delle lettere, ma anche nella costituzione delle parole.

Il disturbo disgrafico viene ricondotto alla compromissione di diversi aspetti, tra i quali le mani, le dimensioni dei grafemi e la copia.

L'analisi della forma della scrittura e i legami delle lettere nelle parole indicano il profilo delle competenze grafomotorie nel bambino. La scrittura è la traccia dello stato tonico del bambino, espressione dell'irrigidimento del segno grafico e il movimento da eseguire, veicolo di una difficoltà nella realizzazione dei legami tra le lettere.

Il tono, attraverso l'attrezzo grafico, lascia una traccia di sé sul foglio, definisce lo slancio iniziale del movimento, la qualità e l'efficacia del movimento.

La disgrafia, considerata come difficoltà a rappresentarsi, a programmare ed eseguire volontariamente atti motori consecutivi, può essere considerata un sintomo di disprassia, in quanto impedisce al bambino di realizzare una scrittura chiara, armonica e soprattutto corretta.

In alcuni casi, la difficoltà di controllare la scrittura o il disegno è resa difficoltosa da una disprassia dell'oculomozione, che consiste in una difficoltà dei movimenti dello sguardo in senso orizzontale e verticale, con conseguenza di disordini relativi alla componente visuo-percettiva, alla capacità di esplorazione, all'organizzazione spaziale e alla coordinazione occhio-mano, visuo-motoria e visuo-cinetica.

3.2 Neuroni specchio e Disturbo dello Spettro Autistico

Nel DSM-IV-TR l'Autismo viene incluso entro il "Disturbo Generalizzato dello Sviluppo" o "Disturbo Pervasivo dello Sviluppo" (DPS) in quanto è una sindrome di origine neurobiologica caratterizzata da un grave disturbo organizzativo del pensiero e delle principali funzioni che regolano l'adattamento umano; attualmente i DPS sono definiti anche come "Disturbi dello Spettro Autistico" (DSA), in cui ritroviamo lo stesso Disturbo Autistico, la sindrome di Asperger, il disturbo disintegrativo della fanciullezza, la sindrome di Rett ed il disturbo pervasivo dello sviluppo non altrimenti specificato.

Il Disturbo Autistico (DA) è un'alterazione dello sviluppo di tipo fondamentalmente qualitativo a carico di gran parte delle funzioni umane, presente in ogni area geografica, con prevalenza maschile e con esordio prima dei 3 anni di vita.

È da considerarsi come un disordine funzionale, o delle funzioni esecutive, e comporta una disabilità generale permanente connotandosi prevalentemente per tre aree di disturbo (triade autistica) che riguardano:

- Compromissione qualitativa dell'interazione sociale
- Compromissione qualitativa della comunicazione
- Modalità di comportamento, interessi e attività ristretti, ripetitivi e stereotipati.

In seguito alla scoperta dei meccanismi specchio nel macaco e successivamente nell'uomo, alcuni ricercatori si sono chiesti se alcuni aspetti della sindrome autistica non fossero dovuti ad un ipofunzionamento di questi neuroni.

È stato infatti osservato che le funzioni in cui il Sistema Specchio sembra essere coinvolto, sono proprio quelle compromesse nell'autismo.

La maggioranza degli autori ritiene che il sistema specifico compromesso nel Disturbo Autistico (DA) sia quello preposto alle competenze di tipo sociale; quelle più suggestive sono rappresentate dalla teoria socio-affettiva e da quella cognitiva.

La teoria socio-affettiva parte dal presupposto che l'essere umano nasce con una predisposizione innata ad interagire con l'altro (Hobson, 1993). Secondo tale approccio alla base del DA esisterebbe un'innata incapacità di interagire emozionalmente con l'altro (deficit nell'intersoggettività primaria), la quale porterebbe all'incapacità di imparare a riconoscere gli stati mentali, al deficit della cognizione sociale e del linguaggio.

Le teorie neuropsicologiche sono scaturite da un filone di ricerca che evidenzia nei soggetti autistici carenze cognitive geneticamente determinate.

La mancanza di una Teoria della mente, il Deficit delle Funzioni Esecutive e il Deficit di Coerenza Centrale rappresentano le teorie più accreditate per il maggior numero di studi sperimentali, e

verosimilmente nessuna di queste risulta predominante sulle altre; al contrario tutte possono concorrere ai deficit peculiari del DA.

Con il termine Teoria della Mente ci si riferisce ad un insieme complesso di competenze identificabile con la comprensione intuitiva che gli esseri umani possiedono rispetto alla mente e agli stati mentali, propri e altrui, e all'abilità di prevedere il comportamento umano sulla base di tali stati. E' dunque identificabile con la capacità di riflettere sulle emozioni, sui desideri e sulle credenze proprie ed altrui e di comprendere il comportamento degli altri in rapporto non solo a quello che ciascuno di noi sente, desidera o conosce, ma in rapporto a quello che ciascuno di noi pensa che l'altro sente, desidera o conosce.

Secondo l'ipotesi del deficit della Teoria della Mente (Theory of Mental Mechanism) nell'autismo, alla base di questo disordine vi sarebbe una sorta di non scoperta della mente o di cecità mentale (mind-blindness) (Baron-Cohen et al., 1995).

Le anomalie dello sviluppo comunicativo-sociale del DA sarebbero il risultato del mancato sviluppo di tale capacità naturale di attribuire stati mentali a se stessi e agli altri e di interpretare i comportamenti altrui in termini di stati mentali.

La teoria della simulazione propone la simulazione mentale come riferimento principale per comprendere cosa pensano gli altri. Tale teoria è basata sulla scoperta dei Neuroni Specchio, neuroni facenti parte del cervello sociale, i quali si attivano sia quando si compie un'azione in prima persona, sia quando la si osserva compiere da altri, pertanto permetterebbero di codificare le azioni in funzione del loro scopo, cioè a livello delle intenzioni.

In tal senso i neuroni a specchio costituirebbero la base biologica del processo di apprendimento per imitazione e potrebbero rappresentare la base neurobiologica della comprensione delle reazioni emotive degli altri, cioè della teoria della mente.

La coerenza centrale va intesa come quella capacità di sintetizzare in un tutto coerente le molteplici esperienze parcellari che investono i nostri sensi.

La Teoria della Debole coerenza centrale (Happé & Frith, 1996) ipotizza un deficit nella capacità di integrare le informazioni provenienti da diversi canali in unità dotate di significato.

Una "debolezza" in suddetta capacità porta il bambino autistico a rimanere ancorato a dati esperienziali parcellizzati, con incapacità di cogliere il significato dello stimolo nel suo complesso.

Da ciò dipenderebbe la difficoltà nella percezione del significato unitario con conseguente elaborazione frammentata dell'esperienza, polarizzazione esasperata su dettagli e incapacità di tener conto delle informazioni contestuali. Sul piano della comprensione sociale ciò potrebbe spiegare la difficoltà dei soggetti con DA di cogliere ciò che è saliente all'interno di una situazione sociale.

Gli autistici appaiono infatti incapaci di integrare l'informazione a diversi livelli e di mettere insieme le parti di un tutto per interpretare la realtà. Un tale modello suggerisce che il

funzionamento mentale di tipo autistico si caratterizza come uno stile cognitivo che investe non solo l'elaborazione degli stimoli sociali, ma più in generale di tutti i dati esperienziali.

Un disturbo delle funzioni esecutive è ipotizzato sulla base di alcuni sintomi autistici quali iperselettività, ripetitività, rigidità e perseverazione.

Con il termine di funzioni esecutive vengono indicate una serie di abilità che risultano determinanti nell'organizzazione e nella pianificazione dei comportamenti di risoluzione dei problemi. Tali abilità sono organizzate a livello frontale.

Molti dei comportamenti autistici sarebbero l'espressione di un deficit di tali abilità: per esempio, l'impulsività, per l'incapacità di inibire le risposte inappropriate; la perseverazione, per l'incapacità di ridirezionare in maniera flessibile l'attenzione (Ozonoff, 1997).

L'ipotesi che l'incapacità a relazionarsi con le persone in modo ordinario, sintomo principale dell'autismo, dipenda da un malfunzionamento del Sistema Specchio è stato proposto alcuni anni fa anche da Altschuller e collaboratori (1997) e da Williams e collaboratori (2001).

Solo di recente, però, indagini anatomiche ed evidenze provenienti da studi neurofisiologici (EEG, MEG, TMS) e di neuroimaging hanno supportato questa ipotesi.

Il tema tradizionale di ricerca dell'autismo che risulta tuttora acceso e senza unanimità di vedute, riguarda una delle funzioni del Sistema Specchio, l'imitazione.

Il Sistema Specchio, fornendo una copia motoria dell'azione osservata, appare essere il candidato neurale ideale per l'imitazione.

Chiare evidenze in favore di questa ipotesi, provengono da numerosi studi che mostrano come questo sistema sia coinvolto, come già accennato, nella ripetizione di azioni fatte da altri, ma anche nell'apprendimento per imitazione.

Oberman e collaboratori (2005) hanno effettuato un'analisi EEG delle onde cerebrali mu in bambini a sviluppo tipico e in bambini affetti da autismo.

Poiché il ritmo mu (8-13 Hz) registrato sulla corteccia senso-motoria riflette l'attività dei Neuroni Specchio, un modo per misurare l'integrità di questo sistema è quello di misurare la risposta mu durante l'esecuzione e l'osservazione di azioni.

E' stato stabilito che il mu si sopprime quando gli individui eseguono e osservano un'azione. Lo studio ha dimostrato che in esecuzione, la registrazione dell'attività elettrica non mostrava alcuna differenza sostanziale tra i due gruppi, mentre nella fase di osservazione dei movimenti le onde mu erano sopresse soltanto nei bambini con sviluppo tipico, ma non in quelli autistici.

L'ipotesi avanzata da questi autori è che alla base dell'incapacità dei bambini con autismo di entrare in relazione con gli altri (di capire gli altri) ci sia un mal funzionamento del Sistema Specchio, in quanto necessario per la codifica dell'azione altrui.

L'autismo, oltre ad essere propriamente un deficit di tipo socio- comportamentale, porta con sé anche disturbi di carattere strettamente linguistico: a seconda della gravità della sindrome è

possibile assistere ad un vero e proprio mutismo, oppure ad un notevole ritardo nello sviluppo del linguaggio (talvolta le prime sillabe appaiono intorno agli otto anni), o ancora, nel caso di uno sviluppo linguistico tardivo, esso può manifestarsi attraverso la produzione di stereotipie (Brandi, 2001).

Inoltre i soggetti affetti da autismo, oltre alla classica triade sintomatologica, risultano affetti da numerosi disturbi motori.

In letteratura sono descritte numerose osservazioni cliniche riguardo a deficit neurologici. In particolare è presente un ritardo nell'acquisizione delle funzioni motorie primarie, che si manifesta nella difficoltà a organizzare in modo fluido e coordinato una serie di movimenti.

I bambini con autismo risultano così scoordinati, goffi e maldestri.

Ancora, i bambini con autismo mostrano una persistenza dei riflessi "primitivi" (presenti nel neonato) e alterazioni del tono muscolare, ed, infatti, sono stati descritti come ipotonici.

Nel soggetto autistico le aree cerebrali che presiedono all'elaborazione e all'organizzazione del movimento funzionano in modo anomalo.

Le anomalie frontali impediscono l'attenzione condivisa, l'immaginazione, a favore di una rigidità della condotta e abilità inutili e ripetitive.

Le anomalie dei lobi parietali determinano perdita di controllo, disordine delle funzioni esecutive e disordine della memoria di lavoro.

Un cattivo funzionamento del sistema limbico, e nello specifico dell'ippocampo e dell'amigdala, determina un'alterata incapacità di capire le emozioni e una disturbata capacità di immagazzinare i ricordi legati all'esperienza motoria.

Un anomalo funzionamento del cervelletto determina disprassia, anomalie del movimento oculari e ipo-ipertonicità.

La disprassia, in questi soggetti, si presenta su due livelli:

- a livello efferente: l'azione, rappresentata mentalmente, non si traduce correttamente in atto motorio finalizzato (DISPRASSIA ESECUTIVA);
- a livello afferente: il soggetto presenta una disfunzione percettiva tale da non consentire una corretta rappresentazione mentale dell'azione (DISPRASSIA IDEATIVA).

Recenti studi conferiscono al sistema motorio un ruolo chiave nel mediare la capacità di eseguire e di comprendere le intenzioni altrui.

E' dunque plausibile ipotizzare che il danno a carico di tali meccanismi possa essere alla base dei deficit riscontrati nell'autismo.

L'organizzazione del movimento è frutto, inoltre, delle strette connessioni tra aree motorie e sensoriali.

In particolare, la corteccia frontale e la corteccia parietale posteriore risultano costituite da un mosaico di aree anatomicamente e funzionalmente distinte, ma fortemente interconnesse tra di loro tanto da formare circuiti destinati a lavorare in parallelo e integrare informazioni sensoriali e motorie. L'attività di tali circuiti neuronali è consentita dalle Cellule Specchio, che si attivano non solo quando il soggetto compie l'azione, ma anche quando vede compiere l'azione da un altro soggetto.

Queste cellule, dunque, hanno un ruolo determinante nell'apprendimento dell'atto motorio e nei soggetti autistici si riscontra un'attività disturbata dei Neuroni Specchio e delle funzioni esecutive.

Si può concludere che alla base della disprassia e dell'autismo ritroviamo un errore o una distorsione nello sviluppo del sistema dei Neuroni Specchio.

Questo modello di "disfunzione dell'imitazione" spiegherebbe, in parte, la relazione tra disprassia ed autismo dato che una è co-condizione dell'altra.

3.3 L'Immaginazione Motoria

L'imitazione è cruciale per lo sviluppo delle abilità cognitive sociali e per l'apprendimento ed il sistema dei Neuroni Specchio gioca un ruolo chiave, poiché traduce in termini motori gli atti elementari che caratterizzano l'azione osservata, rendendo possibile una sua replica.

Byrne sostiene che l'imitazione può essere divisa in due differenti capacità: "social mirroring" che è la capacità dei soggetti di collegare le loro azioni a quelle di un altro e, l'apprendimento dall'imitazione, ossia la possibilità di sviluppare nuove acquisizioni attraverso l'osservazione.

È stato dimostrato ampiamente che i Neuroni Specchio sottostanno ad un'ampia varietà di comportamenti tra cui la comunicazione sociale e l'apprendimento motorio. Mentre il social mirroring è esclusivamente basato sul sistema dei neuroni specchio, l'apprendimento necessita di capacità cognitive avanzate e dati sperimentali che dimostrano che il SNS non è coinvolto solamente nell'esecuzione delle azioni, ma anche in altre funzioni motorie cognitive.

Un ruolo potenziale è, dunque, quello dell'apprendimento motorio, infatti anche se le abilità motorie sono acquisite attraverso la pratica fisica, è stato visto che l'osservazione del movimento induce lo sviluppo di performance specifiche, creando una sorta di memoria motoria e, conseguentemente, dei cambiamenti nella rappresentazione motoria.

Sembra che un ruolo importante sia svolto dall'integrazione nel SNS di diverse regioni cerebrali tra cui la corteccia motoria primaria (M1) come dimostrato in studi neurofisiologici e di neuroimaging. La M1, infatti, presenta attività specchio in risposta all'osservazione del movimento, è capace di sviluppare memorie motorie ed è coinvolta nell'apprendimento motorio.

In uno studio condotto con la stimolazione magnetica transcranica (TMS) è stato dimostrato che l'osservazione di un altro individuo mentre esegue semplici movimenti ripetitivi del pollice determina una traccia motoria cinematicamente specifica dei movimenti osservati proprio in M1. Le modificazioni indotte in M1 dalla semplice osservazione sono sovrapponibili, anche se in grado minore, a quelle indotte durante la pratica fisica.

Dunque l'osservazione può migliorare la performance motoria tramite un meccanismo simile a quello coinvolto nell'acquisizione delle abilità motorie tramite la pratica fisica.

Una delle capacità cognitive peculiari degli esseri umani è quella dell'immaginazione del movimento, ovvero della sua simulazione mentale.

È stato dimostrato che esiste una isocronia mentale, ossia che il tempo necessario per completare un movimento immaginario è lo stesso di quello necessario per la sua esecuzione.

Numerose evidenze scientifiche hanno dimostrato il coinvolgimento del SNS: l'immaginazione del movimento, infatti, attiva più o meno le stesse aree cerebrali che vengono attivate durante l'esecuzione o l'osservazione di esso (corteccia prefrontale, premotoria, area supplementare motoria, giro cingolato, corteccia parietale e cervelletto, nonché anche la M1).

Quindi, l'esecuzione del movimento, l'immaginazione motoria e l'osservazione dell'azione sono accomunate dalle medesime basi neurali.

Nell'immaginazione e nell'osservazione c'è un'attivazione off-line delle aree motorie cerebrali e la riorganizzazione neurale in seguito alla performance motoria è la stessa che avviene durante l'immaginazione dell'azione stessa.

Da tali evidenze è stata ipotizzata la possibilità della teoria dell' "apprendimento motorio senza il movimento".

Per immaginazione mentale si intende la capacità di immaginare oggetti e/o eventi che non sono presenti. Occorre distinguere due evenienze:

- L'immaginazione motoria (Motor Imagery): processo cognitivo di immaginazione di un movimento del proprio corpo (o parte del corpo) senza un suo effettivo movimento;
- L'immaginazione del movimento (Movement Imagery): processo secondo il quale il soggetto immagina un oggetto in movimento, ad es. la traiettoria di una palla.

Inoltre, occorre distinguere l'immaginazione in prima persona, detta interna, cinestetica o egocentrica e quella in terza persona, detta esterna o visuomotoria.

Nella prima si assiste ad un'attivazione dell'area sensorimotoria specifica, nella seconda, invece, non risulta un chiaro pattern spaziale.

Diversi studi hanno mostrato che i sistemi autonomici, che non sono sotto il controllo volontario e che sono responsabili dell'adattamento dell'attività cardiaca e respiratoria durante lo sforzo, presentano visibili cambiamenti durante la simulazione mentale. Quando i soggetti, ad esempio, immaginano di correre a velocità crescenti avvengono dei cambiamenti molto consistenti nella frequenza cardiaca e respiratoria correlati al grado di sforzo dell'azione rappresentata mentalmente in assoluta assenza di attività muscolare.

Allo stesso modo l'osservazione delle azioni eseguite dagli altri attiva il sistema autonomico, ad esempio soggetti che guardano una scena in cui un attore che corre aumentano la frequenza del respiro correlato con il grado di sforzo condotto dall'attore.

L'immaginazione motoria può facilitare l'apprendimento dei movimenti ed alcuni studi mostrano l'ottimizzazione dell'esecuzione del movimento in atleti e musicisti in seguito a training di immaginazione motoria.

Per tale motivo è stato ipotizzato il suo utilizzo nel campo della neuroriabilitazione. I primi studi sono stati condotti in pazienti con sindrome dolorosa dell'arto fantasma ed, in seguito, in quelli con stroke.

Page et al. hanno condotto il primo studio randomizzato di riabilitazione tramite immaginazione motoria in pazienti con stroke: sono stati arruolati 13 pazienti dopo stroke e suddivisi in due gruppi, un gruppo di controllo che effettuava solo terapia riabilitativa fisioterapica ed un gruppo di studio che oltre alla fisioterapia eseguiva training di immaginazione motoria.

Questi ultimi hanno mostrato un miglioramento nelle abilità motorie superiore al gruppo controllo.

Liu ha effettuato un altro studio simile ed ha dimostrato che i pazienti che effettuano la riabilitazione con immaginazione motoria migliorano le abilità di vita quotidiana.

L'immagine motoria (IM) indica "la capacità, per un soggetto, di rappresentarsi una azione senza produrre movimento". Essa è stata anche definita come "uno stato dinamico durante il quale un soggetto simula mentalmente una determinata azione. Ciò implica che egli senta sé stesso che esegue una determinata azione" (Decety, 1996), ma senza eseguirla realmente. Non si tratta di evocare una sorta di "vedersi allo specchio" mentre si compie un determinato movimento, piuttosto, l'IM implica la rievocazione delle sensazioni derivanti da un determinato movimento in modo tale da simulare di sentire sé stessi muoversi, sia pure in assenza di qualsiasi movimento reale osservabile dall'esterno.

Importante, anche per le possibili applicazioni della IM in riabilitazione, è stata la dimostrazione della possibilità di determinare un aumento della forza muscolare impiegando movimenti non reali, ma immaginati. Allo scopo, sono stati messi a confronto gli incrementi della forza muscolare che si verificavano in due gruppi di volontari sani: il primo gruppo ha eseguito un allenamento della durata di 4 settimane che prevedeva l'esecuzione di contrazioni muscolari isometriche massimali in abduzione del quinto dito della mano sinistra, mentre il secondo ha condotto un analogo allenamento "mentale" che prevedeva di immaginare il medesimo movimento, ma senza eseguirlo effettivamente. Entrambi i gruppi di volontari conseguirono significativi incrementi della

forza: del 30% in media per il gruppo dell'allenamento reale e del 22% per quello dell'allenamento mentale. Occorre inoltre rilevare che anche il dito controlaterale non allenato della mano destra mostrò un incremento della forza in entrambi i gruppi: del 14% nel gruppo dell'allenamento reale e del 10% in quello dell'allenamento mentale.

I risultati di questo esperimento suggeriscono l'origine neurale dei fenomeni osservati, che sono del tutto simili agli stessi aumenti di forza che si riscontrano nelle fasi iniziali di un qualsiasi allenamento, prima, cioè, che abbia luogo un effettivo incremento del trofismo muscolare. Per questo motivo, gli autori interpretano gli aumenti di forza ottenuti, sia con l'allenamento reale che con quello immaginato, come il risultato di un miglioramento delle fasi di programmazione centrale del movimento (Yue, Cole, 1992).

L'IM e le azioni realmente eseguite condividono, sia pure approssimativamente, le medesime strutture centrali: per questo motivo, in seguito ad un ictus cerebrale che determina emiparesi è possibile che, oltre al disturbo del movimento (paresi) sia presente anche una alterazione della IM. Per mettere alla prova questa ipotesi è stato condotto uno studio di cronometria dei movimenti di una paziente che, in seguito ad una lesione localizzata nell'area cerebrale motoria di destra soffriva di un impaccio a carico dei movimenti della mano sinistra, con difficoltà a muovere in maniera indipendente le dita che percepiva come "incollate tra di loro". Con la mano sana, i movimenti effettivi e quelli simulati mentalmente risultavano avere la medesima durata; con la mano colpita aumentava sia il tempo di esecuzione del movimento effettivo che quello della sua simulazione mentale. La scoperta che la difficoltà ad eseguire un determinato movimento si accompagna ad una alterazione della IM suggerisce dunque che essa non è una funzione cognitiva "astratta": piuttosto, la stretta relazione tra movimenti reali e movimenti immaginati fa ritenere che l'IM sia implicata nella pianificazione e nella programmazione del movimento (Sirigu et al. 1995).

La probabilità che ad un disordine del movimento corrisponda una anomalia dell'evocazione dell'IM è stata confermata in altre patologie dove è stato possibile mettere a confronto l'emilato sano con quello colpito, come ad esempio l'emiplegia destra, l'emiplegia sinistra ed il morbo di Parkinson che, in fasi molto iniziali della malattia, spesso esordisce interessando una sola metà del corpo (Decety, 1996b).

Dal punto di vista riabilitativo, la letteratura scientifica in definitiva suggerisce due chiari concetti. Il primo, è che l'IM favorisce attivazioni cerebrali specifiche, e dunque può diventare un prezioso strumento terapeutico anche per quei malati in cui il movimento reale è impossibile o, per un certo periodo, sconsigliabile.

Il secondo, è che un disturbo del movimento reale può verosimilmente accompagnarsi ad una anomalia dell'IM del movimento stesso: di conseguenza, un esercizio che preveda l'evocazione diretta di IM con l'arto paretico potrebbe non condurre alle modificazioni auspiccate.

Attualmente la prevalenza di utilizzo della Motor Imagery riguarda l'ambito della Psicologia Positiva e della Psicologia dello Sport.

3.3.1 Training di immaginazione motoria in bambini con DCM

Le abilità di coordinazione motoria sono influenzate da condizioni neurologiche, ambientali e psicologiche, da qui la necessità di offrire al bambino tutti gli stimoli necessari affinché si verifichi un buon funzionamento del sistema nervoso ed in particolare dell'apparato senso motorio ed un'adeguata integrazione delle informazioni dei diversi sistemi percettivi (sistema visivo, cinestesico, acustico, tattile e dell'equilibrio).

Ciò si traduce attraverso un'educazione motoria del bambino che tenga conto di un ottimale sviluppo delle capacità di apprendimento motorio che consiste nell'assimilazione e nell'acquisizione di movimenti precedentemente non posseduti, che devono essere stabilizzati ed automatizzati.

La riabilitazione neuro-motoria è volta a promuovere, attraverso esperienze concrete e il controllo cosciente del movimento e dell'azione, uno sviluppo adeguato ed una congrua comunicazione del bambino con l'ambiente circostante tenendo conto delle potenzialità dello stesso.

Questo significa che l'esercizio fisico non va inteso semplicemente come un atto imitativo e ripetuto ma come un atto intenzionale in cui il corpo non è solo uno strumento ma un modo di conoscere e comunicare.

Come già accennato, alcuni studi hanno dimostrato che nei bambini con DCM è ipotizzabile un disturbo della rappresentazione motoria e dell'immaginazione visuo-motoria.

Per tali motivi sono stati effettuati degli studi di training, al fine di verificare se è possibile ottenere miglioramenti nella rappresentazione interna e, di conseguenza, nell'esecuzione motoria.

Nello studio di Wilson sono stati mostrati a bambini con DCM dei video in cui erano registrati dei soggetti che eseguivano alcune attività.

Dopo la visione, veniva richiesto ai bambini di ricreare mentalmente il video ed, in seguito, di immaginare di eseguire il movimento visto, passando, quindi, da una prospettiva esterna ad una interna. Dopo il completamento di tali esercizi, i bambini venivano arruolati in diversi studi in cui venivano eseguiti vari compiti di attività pratica, sia con prove mentali che con tentativi di esecuzione. Sono stati ottenuti ottimi risultati.

L'immaginazione motoria, infatti, ha l'effetto di facilitare la pianificazione predittiva dei parametri del movimento (modello forward) come la forza, il timing e la traiettoria, poiché stimola l'immaginazione delle conseguenze dell'azione in assenza dell'esecuzione del movimento stesso. Con le prove mentali i bambini visualizzano il flusso temporale dello spazio visivo che accompagna il movimento normale, e tramite l'adozione della prospettiva egocentrica, sente come deve essere calibrato il flusso della sensazione cinestetica del movimento prodotto dagli arti.

Con la pratica, i bambini imparano a collegare la visione e la cinestesi al fine di effettuare accurate predizioni sulle conseguenze dei movimenti auto-ordinati, in tal modo si riducono gli errori nella progettazione del movimento, migliorando l'abilità a pianificare e coordinare i movimenti degli arti rispetto agli oggetti e agli ostacoli presenti nell'ambiente.

3.3.2 Il gioco simbolico nei bambini con Autismo Infantile

In una fase dello sviluppo del bambino, che va dai 18-24 mesi fino a sette anni circa, è presente una particolare forma di attività infantile definita come “gioco simbolico”.

Non sempre però è possibile riscontrarlo nei piccoli, in quanto alcune patologie, come ad esempio il Disturbo Autistico (DA), possono compromettere la loro capacità di dedicarsi ad esso.

Quando si parla di gioco simbolico viene indicata una particolare forma di gioco che si sviluppa dal momento in cui il bambino comincia ad utilizzare il pensiero simbolico.

Grazie a questa capacità cognitiva egli riesce a rappresentare mentalmente le cose, gli oggetti e le persone che incontra nella vita di tutti i giorni, indipendentemente dalla loro effettiva presenza davanti ai suoi occhi. Il bambino in questo stadio evolutivo acquisisce inoltre la capacità di “mettere in scena” attraverso l'imitazione differita, azioni passate alle quali ha assistito.

Possiamo capire che si sta assistendo ad azioni di gioco simbolico quando ad esempio vediamo il bambino che tratta un oggetto inanimato come se fosse un essere animato (come avviene nei giochi con le bambole), oppure quando compie attività tipiche della vita quotidiana pur non avendo a disposizione il materiale necessario, come nel fingere di bere da tazze vuote o mangiare senza cibo.

Ci può essere inoltre una simulazione di azioni che normalmente sono eseguite dagli altri come ad esempio l'imitazione delle faccende domestiche.

Molte, quindi, sono le caratteristiche del gioco simbolico, ma di base c'è sempre una trasformazione di attività ed oggetti per ricreare qualcosa che è racchiuso nella mente del bambino, ma che allo stesso tempo appartiene alla realtà, in quanto è stato da lui precedentemente visto o vissuto.

L'importanza di questo tipo di gioco nel corretto sviluppo del bambino è sostenuta in primo luogo da Piaget, ma sono molti in verità gli autori ad affrontare questo tipo di argomento. Uno di questi ad esempio è Vygotskij, per il quale il gioco simbolico è un modo per ampliare il campo di azione e di conoscenza del piccolo, fondamentale per imparare ed adattarsi al mondo che lo circonda.

Nel bambino è forte la necessità di intervenire sul contesto circostante in modo costruttivo per vivere situazioni reali, allargare le proprie esperienze ed avere un regolare sviluppo dell'intelletto e del pensiero astratto: il bambino infatti, mediante le situazioni immaginarie che riproduce, riesce ad oltrepassare i limiti delle sue effettive capacità di agire.

Anche Bruner si è espresso a riguardo, affermando che il gioco rappresenta un modo per ridurre notevolmente le conseguenze delle azioni e quindi riuscire ad acquisire informazioni dall'ambiente esterno, vivendo una situazione meno rischiosa.

Nei giochi simbolici il bambino si basa sul suo istinto imitativo, per mezzo del quale riesce a superare i limiti dell'infanzia ed a proiettarsi nella realtà degli adulti, simulando il loro comportamento quotidiano.

Dietro a questo desiderio di calarsi nei ruoli degli altri si trova in realtà, senza dubbio, un forte desiderio di comunicazione.

Nel gioco simbolico, infatti, inizia ad apparire una certa gestualità, la quale si sviluppa contemporaneamente con il linguaggio, e queste due componenti insieme vengono utilizzate per ricreare le informazioni di oggetti ed eventi che sono presenti nel mondo reale.

Gioco, linguaggio verbale e non verbale implicano, quindi, una forte funzione comunicativa degli oggetti che i bambini condividono con gli altri e per mezzo dei quali vengono apprese nozioni sulla realtà, grazie alle trasformazioni simboliche ricreate.

È proprio in questa componente comunicativa che possiamo racchiudere la chiave di comprensione di alcuni disturbi dello sviluppo come l'autismo infantile. Questa particolare patologia ha la caratteristica di poter essere diagnosticata esattamente mediante l'osservazione di problemi del linguaggio comunicativo o del gioco simbolico.

Poiché le principali caratteristiche di questo disturbo sono l'incapacità di creare rapporti con i coetanei; l'assenza di una ricerca spontanea di condividere interessi con gli altri; un preoccupante ritardo nello sviluppo del linguaggio ed a volte la mancanza totale di esso; il non riuscire a sostenere una conversazione; uso del linguaggio ripetitivo e stereotipato, è quindi ben comprensibile il fatto che i bambini colpiti da autismo non potranno attuare normali situazioni di gioco simbolico, nel quale normalmente è espresso un forte desiderio comunicativo.

Questo comporta principalmente, nei soggetti autistici, l'assenza di interesse verso le altre persone e le possibili relazioni che si possono instaurare con esse. Inoltre il deficit della capacità immaginativa è la causa dell'evidente disturbo nell'abilità di finzione presente nel gioco simbolico.

È talmente di fondamentale importanza il gioco simbolico legato all'infanzia del bambino per identificare e comprendere il disturbo autistico, che spesso viene preso in considerazione sia per l'aspetto diagnostico, sia per quello terapeutico di questa malattia.

Osservando ed analizzando il gioco simbolico di un bambino con autismo è possibile infatti catturare alcune particolari caratteristiche di questa patologia e, riscontrata la malattia mediante l'osservazione del gioco simbolico, lo stesso può essere utilizzato per costruire l'intervento riabilitativo, utilizzando ad esempio oggetti oppure imitando azioni, o ancora basandosi in particolare sull'uso del linguaggio, tentando di ricostruire la componente comunicativa del bambino.

È indispensabile prendere in considerazione, in ogni fase dello sviluppo dei bambini, qualsiasi loro forma di espressione, poiché ogni elemento può essere non soltanto una fonte di comprensione del comportamento dei piccoli, ma anche e soprattutto uno specchio del loro corretto sviluppo e di eventuali disturbi di esso, i quali possono, se trascurati, condurre ad un'esistenza estremamente problematica.

CAPITOLO 4

APPLICAZIONI CLINICHE DEI NEURONI SPECCHIO IN RIFERIMENTO ALLA LETTERATURA NEI DISTURBI MOTORI E COGNITIVI IN GENERALE

4.1 Action Observation Treatment (AOT)

Già da diversi anni l'immaginazione motoria è utilizzata sia nella pratica riabilitativa che nella pratica sportiva (Mulder, 2007). Il reclutamento delle rappresentazioni motorie, come avviene nell'immaginazione motoria, anche in assenza di una reale esecuzione di un'azione, è in grado di migliorare la qualità delle prestazioni motorie.

Sulla base di questa evidenza, qualche anno fa (Buccino et al., 2006) è stato proposto che l'osservazione attenta delle azioni, eseguite in una situazione ecologica, potesse diventare al pari dell'immaginazione motoria, un valido approccio riabilitativo (Action Observation Treatment, AOT).

Nell'AOT al paziente che presenta una riduzione delle capacità motorie si richiede di osservare in modo sistematico e attento, nell'ambito di un trattamento riabilitativo che dura 3-4 settimane, una serie di filmati che presentano azioni quotidiane (prendere il caffè, leggere il giornale, pulire il tavolo). Le azioni vengono scelte sulla base della loro valenza ecologica.

Ogni azione viene divisa in 3-4 segmenti motori. Per esempio, l'azione di prendere il caffè può essere scomposta nei seguenti segmenti motori: versare il caffè nella tazzina, aggiungere lo zucchero, girare e quindi portare il caffè alla bocca. Ciascun segmento motorio viene presentato per 3 minuti, attraverso il filmato (fase di osservazione).

Alla fine dell'osservazione, al paziente viene richiesto di eseguire quanto ha osservato. Vengono messi a sua disposizione tutti gli oggetti necessari per compiere l'azione in modo contestualizzato

(fase di imitazione).

Una seduta tipo di AOT dura circa mezz'ora. Alcuni minuti vengono utilizzati dallo specialista per spiegare al paziente quanto dovrà fare (osservare attentamente, prestando cura anche ai dettagli dell'azione presentata nel filmato) e motivarlo al compito stesso, quindi 12 minuti di osservazione (3 minuti per ognuno dei segmenti motori nei quali viene suddivisa l'azione) e infine 8 minuti di imitazione (2 minuti per ogni segmento motorio).

Il paziente, nel corso della fase di imitazione, deve eseguire il segmento motorio osservato al meglio delle sue possibilità; viene comunque informato che il focus del trattamento è l'osservazione dell'azione, non la sua esecuzione.

Ad oggi l'AOT è stato utilizzato nel trattamento riabilitativo di pazienti con stroke ischemico in fase cronica (più di sei mesi dall'evento acuto), in pazienti con morbo di Parkinson e, nell'ambito delle malattie non neurologiche, nei pazienti che hanno subito un intervento all'arto inferiore (protesi d'anca e di ginocchio) e nella riabilitazione di pazienti con PCI.

4.1.1 Intervento motorio di AOT dopo stroke

Il primo studio condotto sui pazienti con stroke ischemico cronico (Ertelt et al., 2007) ha visto coinvolti soggetti di età superiore ai 76 anni con paresi di grado moderato conseguente a lesioni ischemiche a livello del territorio di distribuzione dell'arteria cerebrale anteriore o posteriore. Le scale funzionali utilizzate per evidenziare eventuali cambiamenti fra la condizione pre-trattamento e quella successiva all'AOT erano la Stroke Impact Scale (SIS), il Wolf Motor Function Test e il Frenchay Arm Test (FAT). In tutte le scale considerate ci sono state differenze statisticamente significative fra i risultati ottenuti successivamente al trattamento e quelli ottenuti nella condizione basale.

Le conclusioni dello studio erano che la AOT era risultata efficace nel migliorare le performances dei pazienti affetti da stroke cronico, con un effetto incrementale rispetto a quello dei trattamenti riabilitativi tradizionali, ai quali tutti i pazienti erano stati in precedenza sottoposti; inoltre un gruppo randomizzato di controllo comprendente pazienti con analoghe condizioni cliniche che avevano eseguito un trattamento caratterizzato dallo stesso quantitativo di azioni dello stesso tipo ma, non precedute dall'osservazione delle azioni, aveva mostrato un miglioramento inferiore in modo statisticamente significativo. Il risultato ottenuto sembrava essere prolungato nel tempo, come risultava dal miglioramento persistente in un sottogruppo di pazienti osservati 8 settimane dopo l'interruzione del trattamento.

Dal punto di vista della plasticità cerebrale, uno studio fMRI, che aveva lo scopo di verificare

l'attivazione delle aree cerebrali coinvolte nel corso della manipolazione di diversi oggetti complessi, ha dimostrato come il miglioramento motorio nei soggetti che erano stati sottoposti ad AOT era correlato ad una maggiore attivazione in un network di aree comprendenti le aree parietali bilaterali premotoria ventrali e le aree parietali inferiori (corrispondenti alla localizzazione del sistema dei Neuroni Specchio); altre aree comprese in questo network erano il giro temporale superiore bilateralmente, l'area motoria supplementare e il giro sopramarginale controlaterale.

Il trattamento neuro-riabilitativo dei deficit dei pazienti colpiti da stroke mediante l'Action Observation Treatment rientra tra quelle metodiche terapeutiche che si pongono l'obiettivo di trattare il deficit piuttosto che compensarlo (Buccino et al. 2012).

La gestione di questa problematica prevede infatti trattamenti che si pongono l'obiettivo del compenso del deficit e trattamenti che invece si pongono l'obiettivo del rimedio.

La terapia in questo caso è quindi intesa come "rieducazione" allo scopo di recuperare un'abilità motoria andata perduta (Buccino et al. 2010).

Tale processo può avvenire mediante meccanismi diretti che portano a ripristinare i circuiti neuronali originari o attraverso meccanismi indiretti in cui i circuiti neuronali adiacenti assumono le medesime funzioni.

L' Action Observation Treatment è un trattamento di tipo comportamentale che vede un coinvolgimento sia dei meccanismi diretti che di quelli indiretti.

Un'altra problematica di rilievo nei soggetti colpiti da stroke è rappresentata dall'afasia. Essa può essere descritta come l'incapacità di elaborare il linguaggio e quindi di produrre e comprendere i messaggi verbali. I pazienti sono valutati attraverso la Western Aphasia Battery, l'Apraxia Battery for Adults, il Boston Naming Test e il Boston Diagnostic Aphasia Examination per definire il grado di alterazione del linguaggio. Lo studio si avvale inoltre della fMRI che viene utilizzata per valutare i pazienti prima, durante e dopo la terapia.

Le prime evidenze indicano un progressivo incremento del linguaggio grazie a tale trattamento anche se sia i dati clinici che quelli strumentali sono ancora in fase di acquisizione.

Inoltre, dai primi risultati, si può ipotizzare che l'Action Observation Treatment possa portare benefici importanti nei soggetti afasici non solo per quanto riguarda la produzione del linguaggio, ma anche per la comprensione di frasi che descrivono un'azione e quindi la percezione del significato di un'azione e delle sue conseguenze, conferendo così a tale metodica di riabilitazione un ruolo di sostegno nel recupero del linguaggio più generale (Buccino et al. 2012).

4.1.2 AOT e Morbo di Parkinson

La prima applicazione dell'Action Observation Treatment nei pazienti affetti da Parkinson si è basata sulla valutazione dell'efficacia di tale trattamento nella gestione del fenomeno dell'acinesia paradossa, detto anche fenomeno del "freezing" della marcia, ossia del blocco motorio improvviso che colpisce questi pazienti, che si presenta più frequentemente quando il paziente tenta di cambiare direzione, quando incontra un ostacolo o nel passaggio attraverso spazi ristretti e che non risponde ad alcuna terapia medica.

In un trial randomizzato del 2010 sono stati reclutati 20 pazienti affetti da Parkinson e che presentavano il fenomeno del freezing (Pelosin et al. 2010).

I casi erano sottoposti alla visione di video nei quali venivano mostrati movimenti e strategie per superare i fenomeni di freezing, mentre il gruppo dei controlli osservava video neutri.

Entrambi i gruppi erano poi sottoposti alla medesima terapia fisica. Il trattamento prevedeva 3 sessioni a settimana per 4 settimane.

I risultati hanno mostrato che gli episodi di freezing erano ridotti in entrambi i gruppi durante il periodo di valutazione, tuttavia nella fase di follow-up (4 settimane dopo l'intervento) essi risultavano ridotti unicamente nel gruppo dei casi.

Visti i primi promettenti risultati dell'applicazione dell'Action Observation Treatment nei soggetti affetti da Parkinson si è ipotizzato una sua sistematica applicazione nella gestione di tali pazienti in aggiunta alla terapia convenzionale.

Allo scopo di valutare i benefici di tale trattamento nell'autonomia dei soggetti affetti da Parkinson nelle attività quotidiane, è stato effettuato un'ulteriore studio nel 2011 (Buccino et al. 2011).

In questo studio sono stati reclutati soggetti affetti da Parkinson con età compresa tra i 18 ed i 75 anni, con una acuità visiva ed acustica normale o corretta, con un punteggio al Mini- Mental State Examination uguale o superiore a 24 ed in assenza di depressione. La gravità della patologia nei diversi soggetti è stata valutata attraverso la scale di Hoehn e Yahr ed è stata effettuata una valutazione dell'autonomia nelle attività quotidiane attraverso l'utilizzo della Unified Parkinson's Disease Rating Scale e della Functional Independence Measure.

I soggetti, durante la valutazione, eseguivano la terapia riabilitativa convenzionale ed in aggiunta erano sottoposti all'Action Observation Treatment.

La valutazione è stata effettuata durante la fase "on" di questi pazienti. Al termine della valutazione è stato possibile dimostrare un guadagno funzionale in entrambi i gruppi che risultava però maggiore nei casi rispetto ai controlli.

Infine, un recente studio ha valutato invece gli effetti dell'applicazione dell'Action Observation Treatment sulla bradicinesia nei pazienti affetti da Parkinson (Pelosin et al. 2013).

Nello studio sono stati reclutati 20 soggetti affetti da Parkinson e 14 soggetti sani. I soggetti assegnati al gruppo denominato "video" dovevano osservare video mostranti movimenti delle dita alla frequenza di 3 Hz, i soggetti invece del gruppo detto "acustico" dovevano ascoltare uno stimolo sonoro proposto alla medesima frequenza, ed infine quelli del gruppo di controllo dovevano limitarsi all'osservazione di video in cui veniva mostrata una mano che non eseguiva

alcun movimento.

I pazienti del gruppo “video” sono stati valutati sia nella fase “on” che nella fase “off” del trattamento farmacologico. Tutti i soggetti sono stati sottoposti alla valutazione della frequenza di esecuzione dei medesimi movimenti delle dita osservati dal primo gruppo in diversi momenti: prima della sessione di trattamento, al termine della stessa, 45 minuti dopo e 2 giorni dopo.

I risultati di questo studio mostravano un aumento nella velocità spontanea di esecuzione dei movimenti delle dita tra la fase pre e post trattamento sia nel gruppo “video” sia in quello “acustico”, tuttavia gli effetti erano più significativi nel primo gruppo.

Inoltre l’ Action Observation Treatment mostrava un’efficacia sia nella fase “on” che nella fase “off”, tuttavia, dopo 45 minuti dal trattamento, gli effetti erano presenti unicamente nei soggetti in fase “on”. Nessuna modifica della velocità di esecuzione dei movimenti delle dita è stato invece dimostrato nel gruppo di controllo.

Alla base del miglioramento delle performance nei soggetti affetti da Parkinson, vi sarebbe un’influenza dell’ Action Observation Treatment sul sistema dei gangli della base.

In particolare, uno studio del 2010, ha dimostrato, attraverso valutazioni EEG, che durante l’osservazione del movimento, nonché durante la sua esecuzione vi sarebbe nei soggetti affetti da Parkinson una riduzione bilaterale dell’attività del nucleo subtalamico (Alegre et al. 2010), suggerendo quindi un coinvolgimento dei gangli della base nel network dei Neuroni Mirror.

4.1.3 Riabilitazione motoria dopo chirurgia ortopedica

Visti i primi promettenti risultati dell’applicazione dell’AOT nel trattamento riabilitativo di pazienti con deficit neurologici, si è ipotizzata la possibilità di estendere questo tipo di trattamento anche ad altre patologie non neurologiche. Tra queste si è cercato di valutare l’efficacia di questo tipo di trattamento basato sulla osservazione delle azioni in pazienti con disabilità in fase acuta conseguente ad eventi traumatici o postchirurgici che non coinvolgevano primariamente il sistema nervoso centrale (Bellelli, Buccino, Padovani 2010).

In uno studio del 2010 sono stati reclutati pazienti adulti con età compresa tra i 18 ed i 90 anni che avevano subito la frattura dell’anca o che erano stati sottoposti a chirurgia ortopedica a carico dell’anca o del ginocchio. Sia i pazienti appartenenti al gruppo dei casi, sia quelli appartenenti al gruppo dei controlli erano coinvolti in un programma tradizionale di riabilitazione postchirurgica che prevedeva sedute di 1 ora al giorno per 6 giorni a settimana per 3 settimane. Inoltre, i pazienti nel gruppo dei casi ricevevano durante lo stesso periodo una sessione aggiuntiva giornaliera di 24 minuti durante la quale era loro chiesto di osservare 3 brevi video nei quali vi era un attore che

e eseguiva alcuni movimenti con la gamba o con il tronco e quindi eseguirli nel miglior modo possibile. Al gruppo dei controlli invece venivano mostrati video con scene senza contenuto motorio e dopo l'osservazione veniva loro chiesto di effettuare gli stessi movimenti del gruppo dei casi dopo aver ricevuto delle istruzioni scritte. I pazienti coinvolti avevano inoltre la possibilità di utilizzare dei supporti in base alla loro difficoltà nella deambulazione: quelli con maggiore difficoltà potevano utilizzare il deambulatore, quelli con difficoltà intermedia due stampelle e quelli con difficoltà inferiore un'unica stampella.

Al termine di ciascuna seduta veniva poi chiesto ai partecipanti di entrambi i gruppi di riconoscere i video appena visti tra un gruppo di video comprendente anche alcuni di quelli appena presentati. Al termine del ciclo riabilitativo i pazienti sono stati quindi valutati attraverso la Functional Independence Measure (FIM) per definire il loro stato funzionale (tenendo conto del guadagno funzionale assoluto, dell'efficienza funzionale assoluta e del fattore riabilitativo di Montebello) e la scala di Tinetti (valutando il guadagno funzionale assoluto). E' stato inoltre valutata una variazione nell'utilizzo dei diversi supporti alla deambulazione. Confrontando le valutazioni all'inizio del trattamento e quelle al termine dello stesso, ed inoltre confrontando il gruppo dei controlli con quello dei casi è stato possibile definire un miglioramento significativo nel gruppo dei casi rispetto a quello dei controlli, in particolare per quanto riguardava la mobilità e la locomozione.

L' AOT in questi pazienti agisce attraverso meccanismi differenti rispetto al trattamento riabilitativo tradizionale: il trattamento tradizionale si concentra infatti principalmente sulle componenti periferiche del movimento, che rappresentano gli effettori del movimento stesso, mentre l' Action Observation Treatment agisce a livello centrale coinvolgendo quelle strutture neurali coinvolte nel controllo dell'azione.

4.1.4 AOT come intervento nelle Paralisi Cerebrali Infantili

Sulla base delle evidenze di un coinvolgimento del sistema dei Neuroni Mirror nei processi di apprendimento motorio, è stato ipotizzato un ruolo della terapia di osservazione delle azioni (Action Observation Treatment, AOT) nella riabilitazione di pazienti con PCI.

L'ipotesi è che l'AOT, già applicata con successo nei soggetti adulti per il recupero delle funzioni motorie dopo stroke o chirurgia ortopedica e nei soggetti affetti da morbo di Parkinson, in età evolutiva vada ad agire su un sistema di neuroni specchio ancora "intatto", promuovendo

l'apprendimento di abilità attraverso una modalità di scomposizione di attività complesse osservate in atti semplici, e nella loro ricomposizione in sequenze nuove (Rizzolatti et al. 2006).

I dati forniti dalla letteratura, i risultati clinici e di fMRI hanno suggerito di proporre l' Action Observation Treatment come trattamento rieducativo per l'arto superiore nei bambini con Paralisi Cerebrale. Il primo trial randomizzato controllato è stato possibile grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Fisiologia Umana dell' Università Magna Graecia di Catanzaro, l'Unità di Neuropsichiatria Infantile dell'Università di Brescia ed il Dipartimento di Pediatria dell'Università di Cremona (Buccino et al. 2012, Fig. 7). Lo studio ha coinvolto 15 bambini (8 casi e 7 controlli) affetti da Paralisi Cerebrale Infantile, di età compresa tra i 6 e gli 11 anni, con quoziente intellettivo globale superiore a 70 e assenza di grossi deficit visivi o uditivi. I bambini coinvolti nello studio sono stati sottoposti ad un periodo di trattamento di 3 settimane, per mezz'ora al giorno per cinque giorni a settimana. Gli stimoli utilizzati per il trattamento presentati ai bambini del gruppo sperimentale erano rappresentati da 15 diversi video mostranti azioni quotidiane coinvolgenti la mano ed il braccio eseguite da adulti e bambini e riprese da diversa prospettive. I video mostrati ai bambini del gruppo controllo contenevano invece scene senza contenuto motorio (per esempio documentari geografici). Al termine dell'osservazione era poi richiesto ai bambini del gruppo sperimentale di riprodurre l'azione appena osservata per un periodo di 2 minuti, mentre ai bambini del gruppo controllo veniva invece richiesto di eseguire la medesima azione dopo descrizione verbale standardizzata. L'efficacia del trattamento è stata valutata utilizzando la Melbourne Assesment Scale, applicata due volte prima dell'inizio del trattamento (2 settimane prima ed il giorno precedente l'inizio della terapia) e al termine del periodo di trattamento. I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare un miglioramento della funzionalità motoria rispetto al baseline nel gruppo sperimentale, ma non nel gruppo dei controlli.

Un'ulteriore conferma degli effetti positivi di questo trattamento sulle performance motorie dell'arto superiore deriva da un recente studio randomizzato controllato eseguito da un gruppo di ricercatori dell'Università di Pisa (Sgandurra et al. 2013). Le modalità di applicazione dell'Action Observation Treatment sono simili a quelle utilizzate nello studio descritto precedentemente; si differenziano tuttavia per le modalità di valutazione in termini di tempi (in questo caso i bambini sono valutati prima di eseguire il trattamento, T0, e dopo 1 settimana, T1, 8 settimane, T2, e 24 settimane, T3, dalla fine del trattamento) e per i differenti strumenti di valutazione (in questo caso i bambini sono stati valutati attraverso la Assisting Hand Assesment, la Melbourne Assesment of Unilateral Upper Limb Function e l'Abilhand-Kids questionnaire). I risultati dello studio hanno mostrato un miglioramento significativo all'Assisting Hand Assesment nel gruppo dei casi già al T1 rispetto al T0, che si manteneva poi al T2 e T3. Il gruppo dei controlli invece non ha mostrato tale guadagno funzionale. Non sono state invece riscontrate differenze significative tra i diversi tempi nelle valutazioni effettuate con la Melbourne e con l' Abilhand-Kids questionnaire. Visti i primi incoraggianti risultati nell' applicazione dell'Action Observation Treatment nelle Paralisi Cerebrali Infantili, si è ipotizzata l'utilità di un suo possibile utilizzo nel contesto di un intervento precoce. Un intervento precoce nei neonati a rischio di sviluppare una Paralisi Cerebrale è considerato molto importante, tuttavia i trattamenti riabilitativi standard cominciano generalmente all'età di 6 mesi a causa di una diagnosi tardiva (Guzzetta et al. 2013). Gli approcci tradizionali sono focalizzati sulla

presentazione di giochi e sulla stimolazione sensoriale allo scopo di incoraggiare i movimenti di raggiungimento e di afferramento in maniera spontanea. L'Action Observation Treatment rappresenta un'altra possibilità di stimolare la corteccia motoria danneggiata prima che il neonato abbia raggiunto i movimenti di raggiungimento e di afferramento spontanei. Allo scopo di avvalorare tale tesi è in corso attualmente uno studio riguardante l'utilizzo dell'Action Observation Treatment in neonati con lesioni asimmetriche cerebrali accertate all'imaging. L'obiettivo dello studio è quello di confrontare tale trattamento con il trattamento standard allo scopo di verificare una maggiore efficacia del primo nell'influenzare lo sviluppo dei movimenti di raggiungimento e di afferramento e nel migliorare in generale l'attività motoria degli arti superiori. Per l'esecuzione dello studio è stata arruolata una coorte di neonati sani ed una di neonati con una lesione cerebrale unilaterale o asimmetrica identificata all'ecografia transfontanellare o alla risonanza magnetica. I soggetti sono stati divisi in due gruppi: uno che riceve il trattamento standard basato sulla presentazione di giocattoli in assenza di interazione con essi da parte dell'operatore, allo scopo di stimolare il raggiungimento e la manipolazione spontanei, ed un gruppo in cui invece vengono mostrati gli stessi gesti al neonato. E' ipotizzabile che sia i neonati con lesioni cerebrali unilaterali o bilaterali ma asimmetriche che ricevono l'Action Observation Treatment sia i neonati senza lesioni che ricevono l'Action Observation Treatment possano avere un più rapido sviluppo dei movimenti di raggiungimento e di manipolazione rispetto ai neonati che ricevono il trattamento standard; in entrambe le coorti l'Action Observation Treatment potrebbe dare una maggiore equalizzazione delle vie corticomotorie dei due emisferi con minore riorganizzazione corticale.

4.2 Mirror Therapy (MT)

L'utilizzo di afferenze visive è una pratica diffusa nel trattamento di disturbi neurologici cronici a lungo considerati intrattabili come l'arto fantasma, l'emiparesi conseguente ad un ictus etc.

La Mirror Therapy pertanto è stata proposta nel trattamento di condizioni patologiche dove il paziente non è più in grado di ricevere afferenze dalla parte colpita.

Attualmente mancano protocolli univoci e standardizzati nell'utilizzo della MT classificati per patologie, anche se la revisione in letteratura ha mostrato che l'utilizzo di questo strumento sembra promettente.

4.2.1 MT e Phantom Limb Pain

Il dolore da arto fantasma è un dolore cronico percepito nella parte mancante del corpo ed ha un'incidenza variabile. Questo particolare dolore è rarissimo nei bambini e diventa sempre più frequente man mano che aumenta l'età del paziente.

Uno studio tedesco dell'Ottobre 2009 effettuato da Kern e collaboratori ha analizzato le esperienze di dolore fantasma e di sensazione fantasma su 537 pazienti amputati. Queste persone hanno compilato un questionario composto da 62 domande: fra gli intervistati, il 74,5 % aveva avuto esperienza di dolore da arto fantasma che li costringeva ad alzarsi durante la notte.

Numerose ricerche hanno dimostrato come il sistema nervoso centrale sia capace di cambiamenti funzionali e strutturali in risposta ad input somato-sensoriali nocicettivi.

Il dolore provato prima dell'amputazione, inoltre, può influenzare il decorso del dolore nell'arto fantasma anche molti mesi più tardi: un dolore pre-amputazione, provato cioè nell'arto successivamente amputato, della durata di almeno un mese, è fortemente predittivo per un dolore da arto fantasma che si proverà sei mesi dopo l'intervento chirurgico di amputazione (Jensen et al., 1985). Questi "ricordi di dolore somato-sensoriale" vengono descritti come aventi le stesse caratteristiche qualitative del dolore pre-amputazione e vengono anche sentiti nello stesso punto.

Ramachandran (1994) fu il primo ad utilizzare feedback visivi ottenuti mediante il riflesso della mano sana in uno specchio nel tentativo di dare l'illusione ai pazienti amputati che l'arto fantasma potesse muoversi in risposta ad un comando proveniente dal cervello; in questo modo, i soggetti che prima percepivano l'arto fantasma come "paralizzato" in una posizione scomoda o dolorosa

erano in grado di muoverlo volontariamente riducendo così la sintomatologia dolorosa che li affliggeva. Altri autori ipotizzarono che il dolore dell'arto fantasma, almeno in parte, fosse una risposta alla discrepanza tra la visione e la propriocezione; se così fosse, la MT contribuirebbe a ristabilire la congruenza tra i comandi motori (output) e afferenze visive (input).

Nel trattamento MT il paziente vede il riflesso del proprio arto intatto che si muove su uno specchio posto para-sagittalmente tra le gambe o le braccia, mentre simultaneamente si impegna a muovere l'arto fantasma in modo simile a quello che lui sta osservando.

Grazie a tale terapia si riscontra che la visione è la componente critica per risolvere la PLP e che il feedback visivo garantito da essa può permettere lo smorzamento di ogni disadattamento nella percezione del segnale celebrale. Anche "toccare" l'immagine virtuale dell'arto riflesso nello specchio può suscitare sensazioni tattili nell'arto fantasma.

La "Mirror Box" consiste in una grande scatola (150 X 50 X 50 cm) a forma di parallelepipedo concavo, con 2 aperture: la prima apertura permette al paziente di inserire il moncone di amputazione dell'arto all'interno della "scatola"; la seconda, contrapposta alla prima, permette all'operatore di osservare i movimenti del moncone durante l'esecuzione degli esercizi. Esternamente, su una delle 4 pareti del parallelepipedo, è applicato uno specchio, delle stesse dimensioni della parete (150x50 cm), così da permettere al paziente, durante la terapia, di vedere, oltre all'arto sano, anche il suo riflesso nello specchio.

Esecuzione pratica:

1) Posizionare l'arto lesa (o il moncone) dietro lo specchio o dentro il "Mirror Box" (scatola di plastica ripiegabile con un lato a specchio collassabile); posizionare l'arto sano in una posizione neutrale e chiedere al paziente di guardare nello specchio. Quello che il paziente dovrebbe vedere è il riflesso del suo arto sano in una posizione tale da sembrare, nello spazio, l'arto controlaterale affetto. Bisogna essere sicuri che il paziente non muova gli arti in questa fase. Mentre il paziente sta guardando il riflesso, chiedere delle sensazioni provenienti dall'arto affetto. Alcuni pazienti dichiarano di provare strane sensazioni, fluttuazioni dell'eventuale dolore e altro ancora. Lasciare che il paziente viva pienamente queste sensazioni senza muovere gli arti, ma per un tempo massimo di 5-10 minuti.

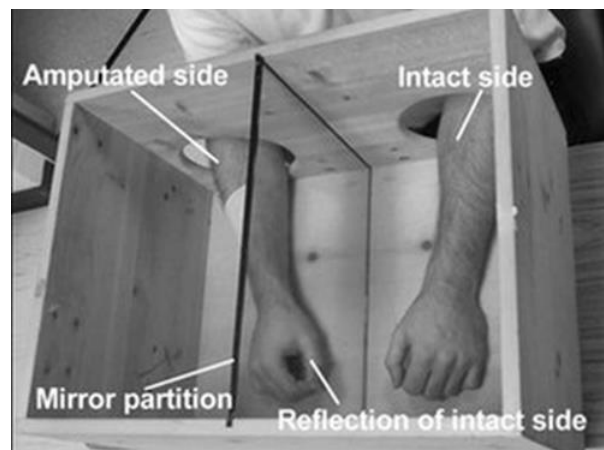
2) Dopo questo periodo e se l'eventuale dolore non è aumentato, si può cominciare a chiedere al paziente di muovere lentamente l'arto sano in posizioni diverse lasciando l'arto malato in posizione di riposo. Ancora una volta, va chiesto di segnalare le sensazioni provenienti dall'arto malato e di porre l'attenzione su quelle sensazioni per 5-10 minuti. Alcuni pazienti riferiscono una sensazione di fatica accoppiata ad una riduzione della sensazione di dolore. E' bene lasciare riposare il paziente per il tempo necessario a far sì che questa sensazione di appesantimento sparisca, visto che è stato riportato un aumento del dolore alla rimozione dello specchio con sensazione di fatica ancora in corso.

3) Il prossimo passo è quello di muovere entrambi gli arti, sia quello sano che quello malato, nelle stesse posizioni mentre si guarda lo specchio. Si chiedi al paziente di concentrarsi sulle sensazioni provenienti da entrambi gli arti durante i movimenti. Questa fase dura 10 minuti.

4) In ultimo, va richiesto al paziente di muovere l'arto sano in posizioni diverse da quello malato, mentre si guarda l'arto malato allo specchio (o meglio, l'arto sano riflesso). La tolleranza a questo esercizio è di solito ridotta nei pazienti senza problemi di dolore. Limitarsi ad una durata dell'esercizio 7-8 minuti se non vi sono sensazioni particolari riferite dal paziente. Non superare in ogni caso i 10-12 minuti.

Per quanto riguarda l'arto superiore, attualmente è stato sviluppato un modello utilizzabile esclusivamente per questi, la Virtual Reality Box, un dispositivo atto all'implementazione della Mirror Therapy in maniera "compatta" e riproducibile anche in ambito domestico.

La Virtual Reality Box è creata posizionando uno specchio verticale dentro una scatola con il tetto rimosso. La parte anteriore di essa ha due fori attraverso i quali il paziente inserisce il suo arto sano e quello fantasma. Al soggetto viene richiesto di concentrarsi sul riflesso della mano reale nello specchio così da creare l'illusione di avere entrambe le mani, quando evidentemente il paziente sta solamente osservando il riflesso della sua mano intatta. Se si chiede all'amputato di inviare comandi motori ad entrambi gli arti affinché svolga movimenti simmetrici, egli avrà l'illusione di vedere la sua mano fantasma ripristinata ed obbediente ai suoi comandi.



Per i pazienti amputati di arto inferiore si utilizza la Mirror Box Therapy, e tutti gli esercizi iniziano con il paziente seduto sul letto, con il ginocchio dell'arto sano esteso e la tibio-tarsica flessa di 90°; di seguito sono riportati alcuni esempi di esercizi da eseguire:

- Flesso-estensione della tibio-tarsica con ginocchio esteso;
- Flesso-estensione del ginocchio, cercando di mantenere leggermente sollevato il piede dal piano del letto;
- Con il tallone appoggiato sul piano del letto, movimenti di circonduzione del piede, in modo da descrivere due cerchi, uno in senso orario e uno in senso anti-orario;
- Flesso-estensione dell'anca a ginocchio esteso; l'esercizio dovrebbe essere svolto senza che vi sia mai contatto fra il tallone e il piano del letto;
- Flesso-abduzione dell'anca e flessione del ginocchio di modo da portare la pianta del piede a fronteggiare il suo riflesso nello specchio (senza che vi sia contatto fra piede e specchio); anche in

questo caso, quando il paziente adduce l'anca ed estende il ginocchio, dovrebbe evitare di toccare il piano del letto col tallone;

- Con il tallone appoggiato al piano del letto, divaricazione "a ventaglio" delle dita del piede;

- Con il tallone appoggiato al piano del letto, flesso-estensione dell'alluce sia a livello dell'articolazione metatarsofalangea che a livello dell'interfalangea;

- Con il tallone appoggiato al piano del letto, flesso-estensione di tutte le dita del piede.



Il paziente si impegna nell'esecuzione di ogni serie di esercizi.

L'operatore gli ricorda che, fra una serie di esercizi e la successiva, ha a disposizione tutto il riposo che ritiene necessario.

Al termine della serie, l'operatore richiede al paziente quale esercizio gli abbia dato maggiormente l'illusione di "avere" ancora entrambi gli arti e lo invita a ripetere una seconda serie di 10 ripetizioni solo di quell'esercizio.

4.2.2 MT e Aprassia Ideomotora

L'ipotesi di lavoro è che il riflesso nello specchio di un movimento corretto, verrebbe incorporato nella rappresentazione corporea, attraverso un meccanismo di embodiment, migliorando la programmazione motoria nei pazienti affetti da IMA (aprassia ideomotora).

L'aprassia ideomotora (IMA) si manifesta come marcata compromissione della capacità di imitazione e pantomima dell'uso di un oggetto, in seguito a lesione dell'emisfero sinistro. I pazienti sanno quello che devono fare, ma non sanno come farlo.

Se l'idea o il piano d'azione sono preservati risulta deficitario il meccanismo di traduzione della rappresentazione interna nel comando motorio appropriato. Infatti, la forte compromissione degli aspetti spaziali/configurazionali e temporali/sequenziali dell'azione, ha portato ad ipotizzare uno scollamento nella rappresentazione interna di tali caratteristiche (Haaland et al., 1999; Poizner et al., 1995).

Uno studio sulla cinematica del movimento (Hermsdörfer et al., 1996), mette a confronto le prestazioni esibite da pazienti con e senza aprassia. Pur trovando un maggior numero di errori cinematici commessi dai cerebrolesi sinistri, rispetto ai destri, le anomalie non risultano associate agli errori aprassici.

Si è concluso che l'IMA deriva da un problema di rappresentazione della posizione bersaglio, piuttosto che da una complicazione di natura cinematica. La dimostrazione di una doppia dissociazione tra anomalie cinematiche ed errori aprassici (raggiungimento della corretta posizione finale con cinematica del movimento caratterizzata da velocità e tempistiche anormali; esecuzione cinematica adeguata di un movimento alternativo/sbagliato) ha portato anche Goldenberg et al. (1996) a considerare l'IMA un problema di elaborazione delle rappresentazioni spaziali, e non di esecuzione motoria.

L'IMA nasce dalla compromissione della capacità di rappresentarsi le caratteristiche extrapersonali (posizione spaziale) ed intrapersonali (posizione della mano) del movimento. Infatti, la prestazione risulta normale sotto controllo visivo.

La rappresentazione multisensoriale e dinamica delle parti del corpo (Body Schema, BS) trarrebbe giovamento dalla ritrovata congruenza tra intenzione motoria e feedback visivo. La ridefinizione del Body Schema ad opera della Mirror Box dovrebbe beneficiare i diversi disturbi della rappresentazione corporea.

Nello studio sperimentale sono stati coinvolti 5 pazienti con diagnosi di IMA, i quali, dopo una settimana dalla valutazione neuropsicologica iniziale, funzionale alla valutazione di un possibile effetto di recupero spontaneo, sono stati sottoposti alla Mirror Box Therapy per un periodo di due settimane.

I pazienti sono stati valutati, dopo aver seguito due settimane di trattamento riabilitativo con MB, attraverso valutazioni standard. Nello specifico, l'efficacia del trattamento è stata verificata mediante specifici test standardizzati per l'IMA che richiedono l'imitazione di movimenti simbolici e non simbolici (De Renzi et al., 1980) e l'esecuzione di azioni significative sia attraverso imitazione che su comando verbale (Spinnler & Tognoni, 1987).

Il programma specifico di riabilitazione iniziava una settimana dopo la valutazione preliminare neuropsicologica (T0) e consisteva in sessioni di 20 minuti da includere all'interno delle attività quotidiane di fisioterapia per un totale di 10 sessioni di riabilitazione totali.

Lo specchio veniva posizionato in corrispondenza della linea mediana e allineato con il piano medio-sagittale del corpo del paziente. I pazienti ricevevano l'istruzione di posizionare la mano sana (la stessa utilizzata per svolgere i compiti di imitazione nella fase valutativa, generalmente la sinistra) dietro allo specchio. L'altra mano, generalmente ipostenica, rimaneva ferma sotto il

tavolo o comunque in posizione non visibile (nascosta, ad esempio, da un indumento). Per i pazienti che non mostravano segni di ipostenia né di emiplegia (2 pazienti), il disegno sperimentale prevedeva la riabilitazione di entrambi gli arti: 10 minuti di lavoro con la mano sinistra si alteravano a 10 minuti con la mano destra. Durante il training, i pazienti avevano il compito di mantenere lo sguardo fisso sullo specchio. Contemporaneamente, il fisioterapista collocava una delle sue mani (opposta a quella del paziente) di fronte allo specchio, in modo tale da generare un riflesso che apparisse congruente alla mano nascosta (Fig. 5). In questa fase, fisioterapista e paziente eseguivano simultaneamente movimenti che coinvolgevano le dita o la mano, diversi da quelli utilizzati nei test. L'esecuzione dei gesti da parte dei soggetti era privata del feedback di controllo visivo della propria mano, ma poteva giovare del feedback visivo generato dal riflesso della mano del fisioterapista. Il programma di riabilitazione prevedeva di iniziare con movimenti semplici, per passare alle sequenze motorie e azioni più articolate solo in un secondo momento. Esempi di questi erano rotazione della mano, movimenti ritmici delle dita, segno di indicazione rivolto allo specchio, battere la superficie chiusa o aperta sul pannello di legno. La procedura utilizzata in questo lavoro è stata ispirata all'ordinario impiego della Mirror Box come strumento riabilitativo, in cui i pazienti sono chiamati a prestare attenzione al riflesso nello specchio della propria mano sana, mentre mandano un comando motorio ad entrambi gli arti, incluso quello nascosto dietro lo specchio. In questi casi, la MB funziona in quanto restaura la sincronia tra informazione visiva (proveniente dal riflesso nello specchio) e propriocettiva (intenzione motoria).

La Mirror Box Therapy (MBT) si è rivelata efficace nell'attenuazione delle sensazioni dolorifiche nel fenomeno dell'arto fantasma o nella sindrome di dolore cronico (MacLachlan, McDonald, & Waloch, 2004; Ramachandran & Altschuler, 2009; Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996; Ramachandran, Rogers-Ramachandran, & Cobb, 1995), così come nel recupero motorio in seguito ad ictus (Altschuler et al., 1999; Yavuzer et al., 2008; Romano, et al., 2014).

4.2.3 MT e recupero dell'arto superiore nel paziente con ictus

La motilità dell'arto superiore nel post ictus rappresenta un target di fondamentale importanza, infatti uno dei principali fattori di disabilità del paziente con stroke è rappresentato dalla perdita dell'abilità dell'arto superiore: il 20% dei pazienti non recupera, l'85% ha un recupero parziale e comunque nel 40% dei sopravvissuti persiste una grave disabilità.

Il trattamento rieducativo con la Mirror Therapy consiste nel far muovere simmetricamente ed in maniera ripetitiva al pz. emiparetico, entrambi gli arti superiori, osservando l'arto sano ad uno specchio posizionato lungo l'asse sagittale del corpo. Il paziente avrebbe la sensazione di vedere una motilità normale dell'arto paretico.

In uno studio effettuato presso il Centro di Riabilitazione ad Alta Intensità Villa Pini di Chieti sono stati reclutati 19 pazienti con emiplegia post-ictus (7 maschi e 12 femmine) con età media di 62,5 (range 45-80) ad una distanza media di 40 giorni dall'ictus i quali, oltre alle tecniche riabilitative tradizionali, sono stati sottoposti a Mirror Therapy; il gruppo di controllo, omogeneo col primo, è stato sottoposto esclusivamente alle tecniche tradizionali analoghe, in termini di qualità e quantità, al primo gruppo.

Il protocollo applicato consisteva in 15 min. di esercizi tutti i giorni per due settimane (tranne la domenica). All'inizio e alla fine del ciclo sono state somministrate le seguenti scale di valutazione: FIM, Barthel, Motricity Index, Frenchay Arm Test.

L'applicazione delle scale di valutazione in condizioni basali ed al termine del protocollo ha evidenziato un miglioramento significativo nei due gruppi riguardo agli indici di disabilità globale, ma appare evidente che i casi sottoposti a tecnica mirror migliorano di più di quanto non facciano i casi-controllo ($p=0,003$).

Questo dimostrerebbe l'efficacia della metodica nel recupero delle autonomie, associata alle tecniche tradizionali.

I risultati ottenuti sia pur preliminari inducono a ritenere che la "Mirror Therapy" possa rappresentare una risorsa in più a disposizione del team riabilitativo, che può consentire un più rapido ed omogeneo recupero delle abilità residue nel paziente colpito da ictus. Studi più a lungo termine potranno meglio chiarire se la tecnica in oggetto possa consentire un recupero più completo della motricità dell'arto superiore.

In un altro studio di 9 pazienti con ictus cronico, Altschuler et al. hanno riferito che il range di movimento (ROM), la velocità e l'accuratezza dei movimenti della mano paretica erano aumentati dopo il trattamento con Mirror Therapy.

Anche Stevens e Stoykov hanno riferito che i loro 2 pazienti con ictus, addestrati con la MT per 3 o 4 settimane hanno avuto un aumento del punteggio di valutazione Fugl-Meyer, una ROM attiva, velocità di movimento, e maggiore destrezza con la mano.

Allo stesso modo, Sathian et al. ha scoperto che 2 settimane di intensa MT in un paziente con ictus cronico ha determinato un forte recupero della forza di presa e del movimento della mano nell'arto paretico.

Gli stessi autori, Altschuler et al. hanno suggerito che l'illusione dello specchio di un normale movimento della mano malata può sostituire le diminuite informazioni propriocettive,

contribuendo così a reclutare la corteccia premotoria attraverso un' intima connessione tra gli input visivi e le aree premotorie. Stevens e Stoykov hanno suggerito che la terapia specchio legata all' immaginazione motoria crea un ritorno visivo in cui si ha una performance di successo dell'azione immaginata con l'arto compromesso.

L'immaginazione motoria stessa, il rendimento mentale di un movimento senza esecuzione palese di esso, ha dimostrato di essere potenzialmente utile nella riabilitazione dell' emiparesi.

L'effetto delle illusioni visive allo specchio sull'attività cerebrale è stato indagato in diversi studi. Garry et al. ha eseguito la stimolazione magnetica transcranica in soggetti sani durante le illusioni dello specchio: questa ha mostrato una maggiore eccitabilità della corteccia motoria primaria (M1) della mano dietro lo specchio.

I Neuroni Specchio sono neuroni visuo-motori bimodali che sono attivi durante l'osservazione dell'azione, la stimolazione mentale (immaginazione), e l'esecuzione dell'azione. Ad esempio, è stato dimostrato che l'osservazione passiva di un'azione facilita l' eccitabilità della M1 dei muscoli usati in quella specifica azione.

Un altro possibile meccanismo per l'efficacia della terapia specchio potrebbe essere il training del braccio bilaterale. Sempre in questo studio è stato chiesto ai pazienti di spostare la mano paretica quanto più possibile mentre muovevano anche la mano sana, osservando l'immagine allo specchio in un approccio di training bilaterale.

Summers et al. hanno studiato l' efficacia del training dell'arto bilaterale ed hanno riferito che, rispetto al training unilaterale, era più efficace nel facilitare la funzione motoria dell'arto superiore in pazienti con ictus cronico.

In una recente revisione, Carson ha esplorato il potenziale delle interazioni bilaterali che si verificano in varie regioni cerebrali: quando i movimenti sono eseguiti in un contesto bimanuale, si hanno miglioramenti funzionali nel controllo dell'arto paretico. Egli ha suggerito che, quando l'arto sano è impegnato in un allenamento motorio, l'emisfero intatto darà luogo ad un aumento dell'eccitabilità nelle vie motorie omologhe dell'arto paretico, facilitando così il recupero della funzione.

Questi studi dimostrano che la terapia specchio, in aggiunta ad un convenzionale programma di riabilitazione, è stata più vantaggiosa in termini di recupero motorio e di funzionamento della mano. L'effetto benefico sul funzionamento della mano è iniziato dopo il trattamento e continuato durante i 6 mesi di follow-up.

L'osservazione attenta delle azioni (AOT) e la terapia specchio (MT) sono due meccanismi diversi, due vie parallele, che possono agire entrambe nell'acquisizione di nuovi task o di quelli già esistenti.

4.3 Realtà Virtuale (RV)

Per il recupero delle abilità motorie compromesse in seguito a danno cerebrale, sono state infatti ormai ben documentate evidenze scientifiche circa la possibilità di attivare, mediante sedute terapeutiche con Realtà Virtuale, le stesse aree cerebrali attivate in corso di esercizio in contesti reali.



Ma cosa si intende per Realtà Virtuale?

Per Realtà Virtuale (RV o Virtual Reality, VR) si intende una simulazione mediata da tecnologie informatiche, che offre la possibilità di vedere, sentire, manipolare e interagire con un ambiente artificiale. La versione più nota di realtà virtuale sono i videogiochi che hanno un alto potere di attrazione.

La realtà virtuale si basa su tecnologie in grado di creare ambienti interattivi che coinvolgono l'utente in attività che simulano quelle del mondo reale; i sistemi di realtà virtuale sono costituiti, oltre che da software specifici, da periferiche di input e di output che hanno l'obiettivo di rendere l'esperienza quanto più complessa e coinvolgente possibile.

Le periferiche di input possono essere di diverso tipo: sensori, joystick, guanti speciali chiamati Data Glove, caschetti o occhiali speciali, piccole telecamere in grado di rilevare i movimenti; per l'output sono di norma impiegati, oltre che alcune delle già citate periferiche di input (come i guanti che possono sia rilevare i movimenti della mano che inviare segnali di tipo tattile o gli occhiali ed i caschetti che possono decodificare i movimenti oculari o del capo ed inviare allo stesso tempo dei segnali visivi per mezzo di piccoli schermi), dei monitor di tipo tradizionale o 3D.

Unitamente alla robotica e alla telemedicina, la Realtà Virtuale rappresenta una nuova frontiera tecnologica della riabilitazione.

La Realtà Virtuale consente di calibrare la difficoltà delle attività proposte sulla base delle reali capacità e potenzialità della persona presa in carico. Rende inoltre possibile misurare e monitorare costantemente le prestazioni e di fornire un ampio range di feedback.

Il feedback visivo, insieme a quello acustico, è il più utilizzato; meno utilizzato è quello tattile dal momento che con le tecnologie attuali è ancora molto complesso cercare di riprodurre degli stimoli tattili in grado di simulare l'interazione con oggetti reali. Alcuni sistemi, più sofisticati, impiegano anche una stimolazione dei sensi olfattivo e gustativo.

La Realtà Virtuale può inoltre costituire uno strumento di accesso, del tutto sicuro, ad attività altrimenti non accessibili alla persona con disabilità motoria nei contesti della vita quotidiana (pensiamo ad esempio a software che permettono di simulare una discesa sugli sci, un lancio con il paracadute o l'atto di suonare degli strumenti musicali).

Un ultimo vantaggio è infine rappresentato dalla possibilità, offerta da alcuni sistemi, di proporre attività riabilitative che possono essere eseguite dal paziente anche nel contesto domestico prolungando i tempi dedicati all'esecuzione degli esercizi con ovvi vantaggi sul piano dei costi e dell'efficacia dell'intervento stesso.

L'esperienza post-lesionale del paziente è in grado di indurre un certo grado di ri-arrangiamento funzionale della corteccia motoria e delle reti neuronali danneggiate dall'evento patologico. Ciò attraverso la mediazione dei Neuroni Specchio durante l'osservazione dell'esecuzione del movimento e con la pratica della immaginazione della sua esecuzione da parte del soggetto.

L'uso della Realtà Virtuale nella pratica clinica è un approccio relativamente nuovo per la riabilitazione, si è sviluppato circa un decennio fa ed è ancora in fase di valutazione.

È stato dimostrato che il ri-apprendimento motorio può essere più efficace in un ambiente con maggiore feedback; questa tecnologia consente la creazione di impostazioni speciali in cui l'interazione uomo-computer è ottimizzata.

Ci sono diversi modi per realizzare l'interazione visiva, con vari gradi di immersione (livello di interazione della realtà virtuale); ciò che determina il senso di presenza è il livello di immersione disponibile, che a sua volta dipende dal sistema usato.

A seconda dei diversi livelli di immersione è possibile specificare due tipi di RV: immersiva (coinvolgente) e non immersiva (non coinvolgente).

La RV immersiva è in grado di creare un alto livello di simulazione del mondo reale producendo, dal computer, un ambiente tridimensionale. Questo elevato livello di immersione è possibile utilizzando un dispositivo di visualizzazione (ad esempio, l'Head Mounted Display, HMD) che isola completamente l'utente dall'ambiente esterno. Questi dispositivi sono dotati di uno o più sensori elettromagnetici che determinano la posizione del corpo, rilevano il movimento e trasmettono continuamente queste informazioni ad un computer che cambia l'immagine tridimensionale in tempo reale.

Uno dei sistemi che fornisce il massimo livello di immersione è il Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), che visualizza le immagini sulle pareti di una stanza cubica. La persona nella stanza indossa degli occhiali con un sensore elettromagnetico, il quale determina la posizione all'interno dello spazio tridimensionale e, con adeguate modifiche del software, l'immagine cambia in tempo reale a seconda della posizione della testa del paziente.

La RV non immersiva usa i display di un monitor o le proiezioni su di una parete per produrre un'immagine tridimensionale, pertanto l'ambiente esterno non è completamente eliminato e la persona riceve l'impressione di un mondo virtuale tridimensionale (può essere paragonato a guardare attraverso il parabrezza di una macchina).

Un altro tipo di sistema non immersivo è anche il Virtual Reality Rehabilitation System (VRRS), in cui il movimento viene registrato e presentato in uno scenario virtuale su di un monitor o attraverso le proiezioni su di una parete.

In questo mondo virtuale, il paziente impara a gestire le situazioni problematiche connesse al proprio disturbo. La possibilità del "senso di presenza" nel mondo reale attraverso la realtà

virtuale offerto al paziente, dovrebbe consentirgli di trasferire le abilità acquisite nell'ambiente virtuale nel mondo reale. Infatti, lo scopo non è ricreare meccanicamente le stesse caratteristiche fisiche della realtà, ma fornire la migliore informazione necessaria per realizzare compiti con lo stesso livello di confidenza usati nell'ambiente fisico.

Un ulteriore vantaggio di utilizzare un ambiente virtuale è senza dubbio la possibilità di registrare automaticamente i risultati, permettendo un monitoraggio dei progressi del trattamento. La capacità di catturare i compiti motori aiuta ad analizzare i risultati.

Inoltre, i sistemi di realtà virtuale consentono di creare scenari simili al vero e proprio ambiente del paziente e generare in tempo reale diversi feedback a seconda del compito motorio richiesto.

La Realtà Virtuale presentata sotto forma di un gioco può motivare i pazienti ed aumentarne la partecipazione e genera stimoli per facilitare ri-apprendimento del movimento senza errori.

4.3.1 Utilizzo della RV a favore delle persone con disabilità motoria

Numerose applicazioni cliniche e sperimentali hanno provato l'efficacia di queste tecnologie in interventi rivolti a persone di tutte le età e con patologie neurologiche e motorie (come paresi e spasticità) di diversa eziologia (Paralisi Cerebrale Infantile, traumi cranici, ictus, Morbo di Parkinson).

La Realtà Virtuale può essere impiegata per intervenire su funzioni deficitarie o sull'esecuzione di attività motorie. Può inoltre costituire un prezioso strumento per intervenire su aspetti più globali legati al benessere, al grado di partecipazione e all'autonomia della persona con disabilità.

I sistemi di Realtà Virtuale possono essere utilizzati per il miglioramento delle performance motorie permettendo di lavorare sulla velocità e l'accuratezza dei movimenti, oltre che sull'inibizione dei movimenti involontari o sul miglioramento della postura e dell'equilibrio.

Numerosi interventi di natura sperimentale hanno riguardato le possibili applicazioni di un software, Gesture Xtreme, inizialmente progettato come prodotto per l'intrattenimento e per la didattica.

Il programma Gesture Xtreme è stato più volte applicato nel contesto riabilitativo per la sua semplicità ed economicità e per l'alto grado di realismo che crea.

La persona, ripresa da telecamere, vede su di un monitor (o proiezione a muro) se stessa (e non un avatar) nell'atto di interagire con gli ambienti virtuali proposti (fondali marini o spazi aerei, campi di calcio o di palla canestro ed altro).

Questo programma utilizza come input i movimenti globali del corpo che possono essere decodificati ed opportunamente tradotti dal programma (un movimento grossolano del braccio può per esempio permettere di lanciare una palla in un canestro virtuale) senza richiedere l'uso di periferiche complesse come i caschetti con monitor incorporati.



Interessanti risultati sono stati ottenuti nel trattamento di disfunzioni motorie come le emiparesi, come ad esempio riporta uno studio di Sung You, pubblicato nel 2005 dall'università di Cambridge, su un bambino con emiparesi da esiti di PCI.

L'autore, utilizzando il programma Gesture Xtreme, dimostra come il trattamento porti a significativi progressi sul piano motorio, progressi testimoniati anche da tecniche di neuro immagine che evidenziano come la terapia basata sulla realtà virtuale porti ad una riorganizzazione della corteccia motoria.

Per quanto riguarda il recupero delle funzioni di equilibrio e degli aspetti posturali, in letteratura viene menzionato il sistema CAREN (Computer Assisted Rehabilitation Environment), messo a punto in Olanda ed utilizzato oltre che per la riabilitazione anche per la diagnosi precoce dei disturbi dell'equilibrio e della postura.

Il sistema CAREN si avvale di una pedana mobile in grado di rilevare e registrare, attraverso un sistema ottico e magnetico, i movimenti del paziente fornendo un feedback visivo a tre dimensioni della performance.

Questo sistema, utilizzabile sia con pazienti che deambulano autonomamente che con quanti utilizzino ausili o siano protesizzati, permette di lavorare su strategie alternative di movimento e di rafforzare le strategie funzionali già possedute, abbreviando sensibilmente i tempi necessari al completamento del percorso riabilitativo .



4.3.2 Training virtuale per l'utilizzo di ausili per la mobilità

La Realtà Virtuale, ampiamente utilizzata nelle simulazioni di guida e di volo, per scopi didattici o di intrattenimento, ha trovato un utile impiego nei programmi di addestramento all'uso degli ausili per la mobilità.

A questo proposito, le evidenze citano Roll Simulator, un software messo a punto dalla fondazione A.S.P.H.I., con la collaborazione della regione Emilia Romagna nel 2001, all'interno di un progetto dedicato alle menomazioni plurime.

Il programma può essere utilizzato dagli operatori nelle fasi preliminari di addestramento all'uso delle carrozzine a trazione elettrica con utenti che presentino, oltre al deficit motorio, anche gravi disturbi della vista.

Roll Simulator si presenta come un ambiente virtuale a tre dimensioni presente in tre diverse versioni grafiche (da quella fotografica, di maggiore realismo, fino a quella con contrasto elevato, indicata per chi presenti disturbi della vista più marcati), interamente navigabili dall'utente, che riproducono una casa formata da quattro ambienti e da un giardino.



L'utente, per mezzo delle frecce direzionali della tastiera, è chiamato a spostarsi attraverso le stanze, evitando gli ostacoli che vengono segnalati dal software attraverso dei feedback di tipo acustico.

Il programma oltre ad essere un valido strumento per addestrare in sicurezza all'uso della carrozzina, è anche in grado di stimolare la memoria visiva e tutte le abilità visuo spaziali.

La Realtà Virtuale può essere una tecnologia in grado di promuovere non solo il miglioramento delle funzioni corporee e delle attività della persona con disabilità motoria, ma anche il suo grado di benessere e di partecipazione.

Molto spesso le persone con gravi disabilità motorie dedicano gran parte del proprio tempo ad attività di tipo passivo (come guardare la televisione) o allo svolgimento di attività terapeutiche di vario tipo.

Le attività ludiche ed in generale tutte le attività del tempo libero possono in questi casi essere sporadiche e poco soddisfacenti.

Per questo motivo, programmi che hanno già rivelato la loro utilità negli interventi riabilitativi sul movimento sono stati applicati anche come strumento per promuovere la qualità di vita globale dei pazienti.

Alcune ricerche si sono focalizzate sullo studio degli effetti dell'utilizzo della Realtà Virtuale su dimensioni come il tono dell'umore, l'autostima, il senso di padronanza e la motivazione a fare delle persone, in particolare bambini e giovani adulti con disabilità motoria.

Uno studio pubblicato dalla rivista Cyber Psychology (Weiss ed altri 2003) ha osservato gli effetti dell'utilizzo di tre scenari ludici virtuali del già citato software Gesture Xtreme su cinque ragazzi con esiti di Paralisi Cerebrale Infantile (tutti con assenza di linguaggio e di deambulazione accompagnati da deficit cognitivi).

Lo studio di Weiss ha rilevato, attraverso la somministrazione di questionari, un alto grado di soddisfazione e di coinvolgimento nelle attività proposte.

In conclusione, la Realtà Virtuale è una tecnologia relativamente recente il cui utilizzo si sta rivelando potenzialmente molto promettente negli interventi a favore di persone con disabilità motoria.

L'alto grado di motivazione e di coinvolgimento ottenibile attraverso queste tecnologie è ampiamente testimoniato dalla letteratura.

A tutt'oggi non si conoscono però ancora tutti i possibili benefici della RV nella riabilitazione di adulti e bambini con patologie motorie; analogamente non tutte le aree critiche sono state opportunamente evidenziate.

4.3.3 Realtà Virtuale e Stroke

Diversi studi hanno dimostrato che l'apprendimento di nuove capacità motorie è importante per indurre la plasticità neurale ed il recupero funzionale nei pazienti colpiti da ictus, in quanto l'alterazione delle funzioni motorie derivante dallo stroke ha effetti negativi sull'autonomia e sulle attività della vita quotidiana.

Sembra vantaggioso combinare la riabilitazione motoria tradizionale con una tecnologia innovativa, al fine di promuovere il ri-apprendimento motorio e la capacità di riacquisizione attraverso una maggiore formazione; un ambiente arricchito da un feedback coinvolge molteplici modalità sensoriali e potrebbe promuovere nel paziente una partecipazione attiva.

Gli esercizi svolti in un ambiente virtuale contengono elementi necessari per massimizzare l'apprendimento motorio.

Il recupero della funzione motoria degli arti in soggetti post ictus è uno dei principali obiettivi terapeutici per i pazienti.

La Realtà Virtuale, così come i dispositivi robotici, permettono di fornire un trattamento specifico in base al feedback di rinforzo in un ambiente virtuale (RFVE), aumentando artificialmente le informazioni sensoriali coerenti con gli oggetti e gli eventi del mondo reale.

Il training basato sul RFVE sta emergendo come una strategia di apprendimento motorio effettivo ed efficace per il trattamento delle estremità coinvolte negli esiti di ictus.

La difficoltà nel comprendere pienamente i fenomeni patologici che si verificano in seguito ad un danno al cervello porta alla nascita di una varietà di metodi terapeutici associati ai vari modelli teorici di riabilitazione. Alcune di queste tecniche sono già utilizzate nella pratica clinica, mentre altre sono ancora in fase di ricerca.

Una delle tecniche sviluppate, basata sui principi dell'apprendimento motorio, è l' Arm Ability Training. Questa tecnica è stata sviluppata per la riabilitazione motoria di pazienti con emiplegia minore. Arm Ability Training è stato descritto nei soggetti sani, prendendo in considerazione le loro funzioni basilari come ad esempio grip, reaching, stabilità e velocità di movimento. In un trial clinico randomizzato Platz et al. ha mostrato maggiori benefici con questo metodo di allenamento rispetto alla fisioterapia classica, ed il risultato è stato un miglioramento nello svolgimento delle attività della vita quotidiana con l'arto emiplegico interessato.

Arm Ability Training è più focalizzato sui disturbi funzionali piuttosto che sulla disabilità in conformità con i principi dell' apprendimento motorio, in cui si afferma che il controllo motorio e l'apprendimento sono modulari.

Un'altra tecnica è l' Electromyogram-triggered Neuromuscular Stimulation derivante dalla teoria dell'integrazione senso-motoria, la quale assume che le aree del movimento danneggiate possono essere reclutate ed addestrate al fine di ottenere un movimento efficace, seguendo due principi dell'apprendimento motorio: ripetizione ed integrazione senso-motoria.

Alcuni studi hanno dimostrato l'efficacia di questo metodo per il trattamento di ictus acuto, subacuto e cronico.

Ancora, il Constraint- Induced Movement Therapy (CIMT) che consiste nell'immobilizzazione temporanea dell'arto sano (6-10 ore al giorno) con l' obbligo di utilizzare l'arto colpito.

La riabilitazione attraverso CIMT è un metodo che può essere utilizzato per pazienti dopo ictus e pazienti affetti da malattia cerebrovascolare cronica.

Per gli arti superiori i metodi includono l' utilizzo dell'arto interessato per la maggior parte del giorno e, allo stesso tempo, l' immobilizzazione dell'arto sano per un periodo di due o tre settimane. Per l'arto inferiore ci sono diverse tecniche che non richiedono l' immobilizzazione dell'arto sano, ma si basano su di un intenso allenamento con elementi funzionali, avvalorato da feedback positivi. Il metodo è basato sull'ipotesi del ripristino dell'equilibrio inter-emisferico, riducendo gli stimoli somato-sensoriali provenienti dall' artto sano e aumentando gli stimoli provenienti dall'emisfero interessato. La teoria si basa sul fatto che il SNC possiede capacità plastiche ed in risposta alle stimolazioni potrebbe stimolare un'intensiva formazione di nuove

connessioni neurali. Numerosi studi hanno riportato cambiamenti nell' eccitabilità della corteccia cerebrale ed hanno mostrato significativi miglioramenti nella fase cronica dei pazienti colpiti da stroke.

Per ri-apprendere il movimento ci sono anche dispositivi meccanici o elettronici che possono aiutare nella rieducazione della funzione motoria. I seguenti dispositivi hanno trovato larga applicazione nel trattamento delle disabilità motorie.

La terapia robot- assistita (Robot-Therapy Aided) si basa sulla teoria dell'integrazione sensoriale combinata con feedback multisensoriale (Visivi, sensoriali, uditive).

La maggior parte di questi dispositivi sono basati su di un esercizio passivo che aiuta a realizzare il movimento iniziato dal paziente.

Per eseguire questo tipo di terapia sono stati sviluppati diversi tipi di dispositivi, come:

- Il robot chiamato MIT-Manus, che prevede feedback visivi, tattili e uditivi. Il dispositivo, in numerosi studi, ha mostrato effetti positivi nella funzione motoria dell'arto superiore nei pazienti durante la fase acuta e cronica. MIT-Manus utilizza due gamme di movimento per l' arto superiore.
- Il Rutgers Master II-ND Force Feedback Glove consente ai pazienti di esercitare i movimenti delle dita. I pazienti sottoposti a terapia ricevono un feedback (visivo, sensoriale, uditivo) durante l'esecuzione delle richieste motorie. Oltre al feedback, il sistema del computer fornisce informazioni in tempo reale sulla velocità, range di movimento e forza del movimento eseguito. Negli studi clinici, gli autori hanno concluso che questi dispositivi potrebbero migliorare la qualità, velocità e la destrezza del movimento e che l'uso di questa terapia può integrare la riabilitazione classica.
- L' Assisted Rehabilitation and Measurement (ARM) permette al paziente di eseguire esercizi in quattro range di movimento, inoltre può controllare la posizione dell'arto del paziente, che si trova sul manico. Il paziente muove la maniglia in modo da eseguire il compito specifico e riceve in tempo reale il feedback visivo del movimento e della forza generata sul monitor, nonché informazioni sulla posizione dell'arto, range di movimento e l'operazione motoria seguente.

Gli autori suggeriscono che lo stimolo primario per recuperare il movimento funzionale si basa sui movimenti ripetuti.

- Mirror Image Movement Enhancer (MIME) è un dispositivo robotizzato che permette l'esecuzione di movimenti in sei gamme di movimento, facilitando od ostacolando le prestazioni dell' attività motoria richiesta nel compito. L'efficacia della terapia con questo robot è stata confermata da studi clinici.

- ARMin è un mezzo-eso-scheletro che supporta i movimenti delle estremità superiori ed inferiori. La posizione e la forza del movimento è regolata dalla capacità del paziente e le attività vengono visualizzate sullo schermo posto di fronte al soggetto.

- Il robot Phantom 3.0 è stato testato su soggetti adulti sani per studiare la funzione del sistema muscolo-scheletrico. Questo robot può fornire un feedback (visivo, uditivo, sensoriale) e generare delle forze che contrastano la performance del movimento.

- Il prototipo del robot Tino è in grado di fornire un feedback, sia sensoriale che visivo, generato come immagine virtuale e fornire la resistenza per assistere il paziente nella corretta esecuzione del movimento. Il robot è utilizzato per migliorare la funzione delle dita e del polso. Uno studio pilota ha mostrato un significativo miglioramento nella funzionalità della mano.

Tipi simili di dispositivi robotici permettono ai pazienti di eseguire esercizi bilateralmente. Di solito, generano solo una risposta sensoriale. L'utilizzo di questi tipi di robot è quello di rieducare gli automatismi perduti per esempio durante la deambulazione.

Bilateral Arm Training prevede l'uso dello stesso esercizio in tempo reale per entrambi gli arti, colpito e non colpito. Diversi dispositivi sono stati utilizzati nella performance bilaterale, come:

- BI-MANU-TRACK, è un sistema che permette esercizi di supinazione e pronazione per l'avambraccio e flessione ed estensione del polso. I movimenti vengono eseguiti bilateralmente e il paziente non riceve nessun feedback.
- BATRAC è un dispositivo che permette al paziente di eseguire movimenti ritmici, ma non fornisce nessun feedback. I pazienti sottoposti a terapia con questo robot possono eseguire la flessione e l'estensione della spalla e del gomito. L'efficacia del dispositivo BATRAC è stata testata in alcuni studi clinici, mostrando miglioramenti nell'attività del movimento.

Per esercitare gli arti inferiori i dispositivi più comunemente utilizzati sono Lokomat e Gait Trainer.

Lokomat è un ortesi con andatura automatizzata che supporta la rieducazione del movimento. Esso genera una simulazione dello schema del passo per tutti i segmenti delle estremità inferiori. L'impiego di un robot permette prestazioni precise sui movimenti ripetitivi richiesti nel normale schema del passo.

La rieducazione con Gait aiuta a prevenire la formazione di schemi compensatori e patologici.

Krishnan et al. ha testato il dispositivo su dei pazienti dopo ictus, mostrando un miglioramento significativo nel cammino. Gait Trainer è, comunque, rivolto alle persone che non sono in grado di raggiungere una posizione verticale e che non possiedono i movimenti richiesti con un solo arto o con entrambi gli arti.

Il paziente viene posto su di una piattaforma, legato ad una cintura che elimina il rischio di cadere e riduce il grado di difficoltà. Questo dispositivo non fornisce feedback ed esegue



solo i movimenti passivi basati sulle fasi del ciclo del passo.

Le tecniche descritte sopra, al fine di imparare di nuovo il movimento sono caratterizzate da alcuni principi generali secondo i quali il miglioramento dipende dalla quantità di esercizio eseguito.

L'acquisizione di nuove abilità motorie è possibile solo ottenendo un feedback dall'ambiente e dalla quantità dell' esercizio.

Il primo principio afferma che l'apprendimento è più efficace quando gli esercizi eseguiti sono separati da periodi di riposo tra le ripetizioni (pratica distribuita) rispetto alla situazione in cui le ripetizioni vengono eseguite in un blocco (pratica ammassata). Nonostante la fatica, l' efficacia dell' allenamento è aumentata linearmente a seguito delle interruzioni tra gli esercizi.

Il secondo principio prevede l'introduzione di compiti differenziati (pratica variabile), in cui migliora il ricordo della performance in relazione ai compiti, sempre svolti ripetutamente (pratica costante).

Un altro principio dimostra l'importanza della casualità scegliendo la quantità ed il tipo di richiesta (interferenza contestuale) per essere esaminato in ordine casuale in un certo numero di prove di un certo compito (pratica casuale). Questo porta ad una migliore performance in ciascuno dei compiti rispetto ad una singola attività praticata da solo.

L'interazione continua con l' ambiente esterno inconsciamente determina un'istruzione efficace di molti dei nostri comportamenti ed abitudini. La base di questo processo è la memoria procedurale (memoria motoria), che è prodotta sotto forma di probabilità di risposte per stimoli specifici. La memoria procedurale è situata nelle strutture associate al sistema motorio, soprattutto nel cervelletto, e gangli della base (caudato nucleo), i quali sono il punto di partenza dell'apprendimento cognitivo, percettivo e dell'efficienza motoria.

L' apprendimento motorio può essere definito come la capacità di migliorare movimenti individuali o sequenze di movimenti attraverso la ripetizione e l'interazione con l'ambiente.

Numerosi studi mostrano un netto miglioramento della funzione motoria, in pazienti in fase cronica post ictus, a seguito della pratica casuale.

Diverse strategie di esercizio senso-motorio possono essere aggiunte al programma di riabilitazione. E 'stato dimostrato che alcune forme di feedback migliorano l'efficienza dell' apprendimento di un movimento semplice. Winstein et al. ha osservato questo momento quando ha testato le fasi (acquisizione, mantenimento e riacquisizione dei compiti motori) del processo di apprendimento eseguendo semplici movimenti con un maggior feedback. Confrontando un gruppo di pazienti con ictus con un gruppo di controllo di soggetti sani, non si è mostrata alcuna differenza nell'acquisizione delle funzioni motorie relative al processo di apprendimento.

Tuttavia, gli individui dopo l'ictus hanno commesso più errori in qualsiasi fase rispetto quelli del gruppo di controllo. Gli autori hanno concluso che l' ictus, in una zona senso-motoria, altera la capacità di controllare e correggere l' esecuzione del movimento corretto, ma non la capacità di imparare di nuovo le attività motorie.

In conclusione, questa revisione indica che queste tecnologie innovative, sia la terapia virtuale che i dispositivi robotici, sono benefiche per il trattamento di pazienti post ictus.

In relazione ai pazienti con ictus l'allenamento virtuale dovrebbe stimolare il ri-apprendimento motorio e le capacità motorie necessarie per svolgere le attività della vita quotidiana.

La tecnologia della Realtà Virtuale è anche utilizzata per la riabilitazione del paziente stando a casa, utilizzando internet; viene chiamata Tele-riabilitazione. Il paziente riceve informazioni su come eseguire gli esercizi da un esperto ed il computer in casa del paziente mostra il compito richiesto. Il continuo contatto con il paziente è assicurato attraverso una webcam e la voce di messaggistica. La Tele-riabilitazione può essere la soluzione per fornire una riabilitazione continua e ridurre il costo di ospedalizzazione dei pazienti con ictus, allo stesso livello di un ospedale basato sulla Realtà Virtuale. Piron et al. ha studiato l'uso della terapia virtuale sia in clinica che in casa del paziente. In questi studi, entrambi i gruppi di pazienti hanno ottenuto risultati migliori quando la terapia virtuale è stata associata alla terapia convenzionale.

Attualmente, l'integrazione con tecnologia di Realtà Virtuale nella riabilitazione a casa del paziente è in fase di sviluppo.

Il vantaggio principale di utilizzare la RV nella riabilitazione di ictus è quello di coinvolgere le persone in un evento simulato, eliminando le limitazioni associate alla disabilità, oltre ad essere in grado di eseguire l'operazione in sicurezza.

4.4 Motor Imagery e Motor Observation in soggetti con condizioni neurologiche

La disabilità motoria è una conseguenza frequente ed invalidante nei pazienti post ictus ed il ruolo fondamentale della riabilitazione è la riacquisizione del controllo motorio. Il recupero funzionale è strettamente legato ai fenomeni di riorganizzazione cerebrale e di plasticità neuronale. L'efficienza e la velocità del recupero motorio dipendono anche dalla disponibilità di informazioni sensoriali di natura propriocettiva, tattile, vestibolare, visiva e uditiva. Molti autori

ritengono che anche l'immaginazione e l'osservazione possano giocare un ruolo nel processo di riapprendimento.

La scoperta dei Neuroni Mirror dimostra che il sistema motorio può essere attivato sia in una condizione "on line" durante l'esecuzione del gesto, sia in una condizione "off line" durante l'osservazione o l'immaginazione di un atto che rientri nel repertorio motorio del soggetto che osserva.

La maggior parte degli studi sulla pratica MI sono stati condotti in campo della riabilitazione neurologica, soprattutto nella riabilitazione ictus.

Si ritiene che l'informazione fornita dalla Motor Observation e dalla Motor Imagery possa contribuire al recupero funzionale nel paziente post ictus come fonte addizionale di informazioni utili nel complesso processo di riorganizzazione dell'area cerebrale danneggiata. Lo scopo dello studio, tuttora in corso, è quello di valutare gli effetti ed i potenziali benefici della Motor Observation e della Motor Imagery in pazienti post ictus attraverso un uso terapeutico dell'osservazione e dell'immaginazione.

Durante il periodo di reclutamento dello studio, sono risultati eleggibili, presso la SC di Medicina Fisica e della Riabilitazione dell'Università degli Studi di Foggia, 16 pazienti emiparetici con ictus ischemico cerebrovascolare nel territorio dell'arteria cerebrale media. I pazienti sono stati suddivisi in un gruppo sperimentale A ed in un gruppo di controllo B; gli 8 pazienti del gruppo A sono stati sottoposti a protocolli fisioterapici riabilitativi standard e a sedute di Motor Imagery e Motor Observation di 60 minuti al giorno per tutto il periodo della loro degenza (circa due mesi). I pazienti hanno osservato brevi filmati che riproducevano azioni di vita quotidiana di complessità crescente (come per esempio piegare i panni, afferrare degli oggetti, disegnare delle figure geometriche, scrivere, preparare il caffè). Alla fine del filmato, l'esperto ha invitato i pazienti a fare degli esercizi mentali in cui si chiede di immaginare di compiere quel gesto appena visto. Infine si è chiesto ai pazienti di compiere l'atto motorio che essi avevano appena osservato e immaginato. Gli 8 pazienti del gruppo di controllo B sono stati sottoposti solo a protocolli riabilitativi standard. Per entrambi i gruppi sono state utilizzate le seguenti scale di valutazione: Functional Independence Measure (FIM) per la misura dell'indipendenza funzionale; Barthel Index per la valutazione della disabilità; Canadian Neulogical Scale per la valutazione dello stato mentale, del livello di coscienza, dell'orientamento e del linguaggio; Short Fort 36 (SF-36) per la misura della qualità della vita. Le scale di valutazione sono state somministrate al momento del ricovero (T0) e alla dimissione (T1).

È stata paragonata la misura dell'indipendenza funzionale espressa dalla scala FIM al momento del ricovero, fase T0, e alla dimissione, fase T1, in entrambi i gruppi; per entrambi c'è stato un miglioramento dell'indipendenza funzionale. Tale miglioramento è stato significativo per il gruppo sperimentale A ($T=2,19$; $p=0,04$), mentre il gruppo B ha mostrato un trend al miglioramento anche se in modo non significativo ($T=0,78$; $p=0,4$). Anche per quanto riguarda la valutazione della disabilità espressa dalla scala Barthel Index sono stati confrontati i punteggi ottenuti dai pazienti al T0 e al T1 ed ancora, entrambi i gruppi hanno sperimentato un trend al miglioramento della

disabilità ma non in modo significativo. Per quanto riguarda la valutazione effettuata attraverso la Canadian Neurological Scale, non ci sono state differenze significative tra i due gruppi. Infine è stata presa in considerazione la qualità della vita analizzando la variazione dei punteggi ottenuti con la scala Short Form 36 dei nostri pazienti nel corso del tempo: anche in questo caso entrambi i gruppi sono migliorati, ma i pazienti del gruppo sperimentale A in modo significativo.

I pazienti del gruppo A hanno sperimentato un miglioramento soggettivo e hanno riportato miglioramenti significativi nelle performance motorie rilevati dalle scale funzionali (FIM).

La capacità di applicare la MI è stata stabilita anche per i soggetti con acuta, cronica, lieve e severa emiparesi. Page e colleghi hanno dimostrato il vantaggio della pratica con MI in un caso clinico e due piccoli studi randomizzati e controllati. In quello più recente gli stessi autori integrano veri e propri esercizi pratici di due volte a settimana per le persone con emiparesi cronica a seguito di un ictus con 30 minuti di pratica immaginaria due volte a settimana. Le sessioni di pratica mentale sono state fornite da audiocassette: consistevano in 5 minuti di relax seguiti da una pratica immaginaria dei compiti ADL (Activity of Daily Living) da effettuare con l'arto superiore colpito. Gli ultimi 3 a 5 minuti servivano ai pazienti per ri-focalizzarsi nella stanza. Il miglioramento della funzione dell' estremità superiore interessata legata alla MI è stata riportata al completamento della sesta settimana di programma.

Dopo 15 sessioni di pratica, sono stati raggiunti significativi guadagni a livello dei compiti domestici. Questi incrementi sono stati clinicamente significativi con un aumento di 2 punti, in media, nei punteggi della Functional Independence Measure, indicando un miglioramento dello stato funzionale del paziente da "moderata assistenza" a "supervisione".

La capacità delle persone con emiplegia cronica di raggiungere guadagni funzionali attraverso la pratica immaginativa è stata ulteriormente supportata da segnalazioni significative nel miglioramento dei movimenti del polso in 2 pazienti, così come nel miglioramento nella linea del tracciato in 3 pazienti con emiparesi destra post ictus.

Nei pazienti con ictus cronico, la pratica quotidiana a casa di movimenti compiuti con la mano interessata per un periodo totale di 4 settimane era associata ad un miglioramento significativo nelle prestazioni richieste, rispetto ai progressi compiuti dal gruppo di controllo.

Allo stesso modo, in un altro trial clinico randomizzato, Liu e colleghi hanno indagato il ri-apprendimento di compiti funzionali come i lavori domestici, cucinare, e fare shopping, utilizzando MI. I soggetti sono stati divisi in due gruppi, coloro che avevano subito l'ictus ricevevano ulteriore training con MI mentre il gruppo di controllo riceve un training convenzionale degli stessi compiti. Il protocollo di intervento include 3 set di pratica, ciascuna composta da 5 compiti di ADL, indicati per 1 ora, 5 giorni a settimana, per un periodo di 3 settimane. La pratica mentale dei compiti più facili (es. mettere i vestiti sulla gruccia e piegare il lavanderia) è stata praticata nella prima settimana, mentre la pratica dei compiti più difficili (andare al parco e fare shopping all'aperto) è stata eseguita nell'ultima settimana. Prima della MI, erano fornite informazioni esplicite (verbali, pittorica, video/film) sulle caratteristiche dei compiti. Il programma di un computer guida i pazienti nel ri-apprendimento dei passaggi necessari per eseguire ognuno dei 15 compiti. Rispetto al

gruppo di controllo, il gruppo MI ha raggiunto un significativo livello di performance più elevato nei compiti addestrati nonché su 5 compiti non addestrati alla fine del programma di formazione. C'era anche maggiore ritenzione del livello di prestazione nel gruppo MI ad 1 mese di follow-up rispetto al gruppo di controllo.

In uno studio, Dickstein e colleghi hanno analizzato la MI per il recupero ed il miglioramento del cammino sempre nei soggetti colpiti da ictus; il cammino era allenato attraverso un programma di pratica di MI nelle proprie case. I partecipanti che hanno avuto un ictus sono stati allenati per 15 minuti, 3 volte a settimana per 6 settimane, utilizzando l'immaginazione sia in prima che in terza persona. Mentre inizialmente le sessioni di prove pratiche erano concentrate sul miglioramento delle specifiche menomazioni dell'andatura, i moduli pratici aggiungevano gradualmente, nelle sei settimane successive, le richieste per aumentare la velocità e la simmetria. Nelle ultime 2 settimane sono stati orientati verso la pratica del cammino, che è stato personalizzato a seconda delle esigenze degli individui. I partecipanti sono stati incoraggiati a praticare lo stesso protocollo durante il loro tempo libero. Il miglioramento della velocità dell'andatura ed il tempo del singolo supporto dell'arto paretico, nonché i cambiamenti angolari delle ginocchia, supportano gli aspetti specifici dell'intervento.

Anche se le prove a sostegno della conservazione dell'immaginazione per le persone dopo un ictus sono convincenti, non può essere universalmente applicata a tutti i pazienti con stroke.

Per gli individui con lesione del midollo spinale (Spinal Cord Injury), la pratica con MI non sembra riportare direttamente alla prestazione motoria colpita. Cramer e colleghi hanno addestrato 10 soggetti con tetraplegia completa o paraplegia e 10 soggetti di controllo che riuscivano ad immaginare i movimenti della lingua e del piede. Per le persone con SCI, il principale risultato è stato indicato nel miglioramento della funzionalità dei muscoli non paralizzati. Cramer e colleghi hanno anche trovato l'attivazione di reti corticali in congruenza con l'immaginazione di movimenti specifici, che ha suggerito loro che la funzione del sistema motorio del cervello può essere modulata indipendentemente da un controllo motorio volontario e dal feedback periferico. Essi hanno concluso che il training con MI potrebbe essere un valore aggiunto agli interventi di restauro dei deficit post-SCI.

Per quanto riguarda gli individui con Morbo di Parkinson, la capacità di applicare MI è controversa, solo pochi studi hanno esaminato gli effetti della MI in questo gruppo di pazienti. I dati di uno di questi studi ha dimostrato che i pazienti con malattia di Parkinson non riescono ad imparare un compito grafo-motorio utilizzando la MI, mentre gli individui affetti da malattia di Huntington mostrano miglioramenti. Gli autori interpretano questi risultati come disordini dell'abilità immaginativa derivanti da deficit degli input di dopamina nei gangli della base nei pazienti con MP.

Dall'altro lato, in un recente studio controllato, le funzioni quotidiane deteriorate a causa della bradicinesia migliorano maggiormente nei pazienti trattati contemporaneamente con pratica fisica e mentale, rispetto a quelli che invece sono trattati solo con la pratica fisica.

CONCLUSIONI

In questo lavoro si è cercato di sottolineare come la comprensione dei modelli neurofisiologici alla base del funzionamento del sistema motorio e di quello cognitivo permetta l'identificazione delle loro disfunzioni nei disturbi motori e neuropsicologici, e fornisca le basi per la delineazione di nuove strategie di intervento.

La scoperta dei Neuroni Specchio offre un meccanismo neurale potenziale per l'imitazione di azioni e per altri aspetti della comprensione sociale degli altri soggetti.

Sfruttando le caratteristiche peculiari dei Neuroni Specchio, il trattamento per osservazione sembra indurre direttamente una modifica funzionale nelle componenti corticali alla base dell'organizzazione dell'azione. Tra i principali vantaggi di utilizzare questo modello vi è la possibilità di promuovere i meccanismi di plasticità cerebrale sfruttando una capacità molto precoce nei bambini, quella di apprendere per imitazione attraverso l'osservazione.

Nello sviluppo del bambino, i Neuroni Mirror possono essere gli elementi chiave che facilitano la precoce imitazione di azioni, lo sviluppo del linguaggio, la funzione esecutiva e molte componenti della teoria della mente. Un mancato sviluppo di un sistema dei Neuroni Specchio intatto e regolato sensorialmente può quindi portare a problemi nello sviluppo di queste importanti capacità umane.

Anche nei soggetti adulti, affetti da malattie neurologiche e non, è stato ipotizzato un intervento basato sul reclutamento di tali neuroni: queste nuove metodologie di recupero, incentrate sull'osservazione, apprendimento per imitazione ed immaginazione motoria hanno mostrato notevoli incrementi, in generale, delle performance delle abilità andate perdute, delle abilità residue, ed un aumento dell'autonomia nelle attività di vita quotidiana, in particolar modo se associate alle terapie classiche.

Molti punti rimangono ancora da chiarire, ma una cosa gli autori confermano: il reclutamento delle rappresentazioni motorie, come avviene nell'immaginazione motoria, anche in assenza di una reale esecuzione di un'azione, è in grado di migliorare la qualità delle prestazioni motorie, che si tratti di soggetti in età evolutiva o di soggetti adulti.

Le esperienze in corso nella rieducazione motoria dell'adulto e del bambino attraverso una prassi di intervento impostata sul modello dei Neuroni Specchio, stimolano il disegno di nuovi trial terapeutici controllati.

BIBLIOGRAFIA

- Riccardo Calzeroni , “I neuroni specchio” , Vertici Network 2007
- Vittorio Gallese, Dedalus 2006, “La consonanza Intenzionale: Una prospettiva neurofisiologica sull’intersoggettività e sulle sue alterazioni nell’autismo infantile”, Dipartimento di Neuroscienze, Università di Parma
- Anna Molinaro, “Influenza dell’osservazione del movimento sull’apprendimento motorio nella riabilitazione di soggetti in età evolutiva affetti da Paralisi Cerebrale Infantile”, 2014
- Luciana Brandi, Andrea Bigagli, “Neuroni specchio, linguaggio e Autismo”, Quaderni del Dipartimento di Linguistica - Università di Firenze 14 (2004): 153-162
- Francesco Fassina, “Sviluppo del linguaggio nell’evoluzione umana”, Università degli Studi di Siena, Facoltà di Lettere e Filosofia, 2011
- Edoardo Giusti, Francesca Militello, “Neuroni specchio e psicoterapia. Ricerche per apprendere il mestiere con la videodidattica”, Sovera Strumenti, 2011
- Sara Volontè, “La disprassia nell’Autismo”, Master biennale di specializzazione in pedagogia clinica
- E. Germanò., A. Gagliano, G. Tortorella, “Neuropsichiatria Infantile- Disturbi Pervasivi dello Sviluppo”
- Maurizio Pincherle, “Disprassie e funzioni esecutive”, U.O. Neuropsichiatria infantile Zona 9 ASUR Marche – Macerata
- Franco Fabbro, “Manuale di neuropsichiatria infantile”, Carocci editore, 2014
- D. Gargano, “Disprassie evolutive”, Erickson, 2013
- Ambrogina Vigezzi, “L’Immagine Motoria”, 20 settembre 2011 in L’Immagine Motoria, Strumenti della TNR
- Cesarina Xaiz, Enrico Micheli, “I primi passi del percorso verso la comunicazione”, tratto dalla Rivista “Autismo oggi”
- “L’assenza di gioco simbolico nei bambini autistici” <http://www.opsonline.it/printable-10749-articolo-psicologia-assenza-gioco-simbolico-bambini-autistici.html>
- A. Malvicino, D. Zanin, N. Cosentino, “Il cervello allo specchio: la Mirror Therapy (MT), revisione della letteratura”

- Tancredi Andrea Moscato, ““Mirror Box Therapy”, Centro protesi Budrio
- Sofia Wender, “Tecniche di machine learning per il trattamento della sindrome dell’arto fantasma”, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Bologna
- Mattiocco Michela, “Nuovo protocollo di riabilitazione dell’Aprassia Ideomotora: lavorare sulla rappresentazione del corpo attraverso la Mirror Box Therapy per migliorare la programmazione motoria”, Dipartimento di Psicologia, Università degli studi di Milano-Bicocca
- R. Lardani, F. Zulli, E. Pennese, I. Pesare, G. Di Giacinto, V. Agliaro, A. Di Iorio, P. Ripari, “La mirror therapy nel recupero funzionale dell’arto superiore del paziente con stroke”, Europa MedicoPhysica 2008; 44 (Suppl. 1 to No. 3)
- Yavuzer G, Selles R, Sezer N, Sütbeyaz S, Bussmann JB, Köseog˘lu F, Atay MB, Stam HJ, “Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial”, Arch Phys Med Rehabil 2008;89:393-8.
- Francesca Caprino, “La Realtà Virtuale nella riabilitazione delle disabili't motorie”
- Paweł Kiper , Andrzej Szczudlik, ElŜbieta Mirek , Roman Nowobilski, Józef Opara, Michela Agostini, Paolo Tonin, Andrea Turolla, “The application of virtual reality in neuro-rehabilitation: motor re-learning supported by innovative technologies”, Medical Rehabilitation (Med Rehabil) 2013, 17 (4), 29-36
- S. Filoni, V. Simone, A. Russo, M. P. Lo Muzio, G. Cassatella, A. Minerva, L. De Palma, A. Santamato, P. Fiore, “Utilizzo della motor imagery e della motor observation nella riabilitazione post-ictus”, EUR MED PHYS 2008;44(Suppl. 1 to No. 3)
- Ruth Dickstein and Judith E Deutsch, “Motor Imagery in Physical Therapist Practice”, PHYS THER. 2007; 87:942-953.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Franchi per aver accettato il ruolo di Relatore e per avermi seguita in questo percorso di elaborazione e stesura tesi.

Particolari attenzioni le rivolgo a tutta la mia famiglia, la quale, come nel precedente percorso, mi è stata affianco in entrambi gli anni di studio, confortandomi e spronandomi a fare sempre meglio, convincendomi che le difficoltà possono essere superate.

Ai miei compagni di avventura, in particolare Andrea, Giada, Giulia e Luigi con i quali non solo ho condiviso le lezioni e gli esami, ma soprattutto le ansie, le gioie, le arrabbiate, le delusioni e le soddisfazioni che ci hanno accompagnato nell'intero percorso.

Ancora, ringrazio le persone che non mi hanno mai abbandonata in questi lunghi cinque anni e sempre a loro, come due anni fa, ringrazio dell'amicizia, della sincerità e della vicinanza rivoltami, specialmente nei periodi più difficili. Grazie quindi, a voi, Virginia, Marta, Aleandro, Martina.

In questo nuovo percorso ho avuto la possibilità di incontrare persone che sono diventate, non solo colleghi sul posto di lavoro, ma anche dei nuovi punti d'appoggio. Una famiglia speciale che mi ha inclusa nella loro realtà, assistendomi ed incoraggiandomi a raggiungere questo risultato. Grazie a tutti voi, Giovanna, Antonio, Massimiliano, Vincenzo e soprattutto, a Luigi, il quale mi riempie di fiducia, sostegno e amore.

Ed infine, un ringraziamento particolare, nonché il più grande di tutti, lo rivolgo a me stessa, per la tenacia, la forza ed il coraggio di pormi sempre un obiettivo e raggiungerlo a tutti i costi, nonostante la strada non sia stata tutta in discesa. Mi rivolgo un grosso in bocca al lupo per tutto ciò che il futuro mi prospetta e l'augurio di riuscire sempre a credere in me stessa e alle mie capacità e qualità.